现代有轴电车系列丛书

现代有轨电车——系统规划及运作模式

中车唐山机车车辆有限公司　组编
吴胜权　赫宏联　张建华　黎冬平　等编著

◎现代有轨电车项目决策参考
◎现代有轨电车系统解决方案
◎现代有轨电车工程建设实施指导

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

现代有轨电车系列丛书

现代有轨电车系统规划及运作模式

中车唐山机车车辆有限公司　组编

吴胜权　赫宏联　张建华
黎冬平　王贵国　苏国亮　编著
徐　军　孙应东　张　艳

机 械 工 业 出 版 社

针对现代有轨电车系统建设的前期决策，依据《投资项目可行性研究指南》，结合国内现代有轨电车系统建设的案例，本书对现代有轨电车系统规划及运作模式进行了详细的介绍。

本书共分为3篇，第1篇现代有轨电车系统规划，重点阐述了现代有轨电车的应用模式、适应性条件、线网规划技术方法、站线规划设计方法、线网规划设计技术程序及现代有轨电车规划一体化；第2篇现代有轨电车可行性分析与决策，从现代有轨电车运营及线路方案、车辆与工程限界、建筑及机电设备工程、项目实施、投融资及财务分析，以及经济评价、社会评价及风险分析，可行性研究支撑性文件及评估等方面，分析了现代有轨电车建设的可行性；第3篇现代有轨电车系统投融资模式，对现代有轨电车BT模式、PPP模式、轨道+物业综合开发模式、资产证券化模式等进行了详细讲解，讨论了如何解决资金来源问题。

本书可供从事现代有轨电车系统建设的前期研究及系统建设的决策人员借鉴与参考，也可作为相关专业高校师生的参考教材。

图书在版编目（CIP）数据

现代有轨电车系统规划及运作模式/吴胜权等编著．—北京：机械工业出版社，2018.1

（现代有轨电车系列丛书）

ISBN 978-7-111-58530-5

Ⅰ．①现…　Ⅱ．①吴…　Ⅲ．①有轨电车　Ⅳ．①U482.1

中国版本图书馆CIP数据核字（2017）第320129号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号　邮政编码100037）
策划编辑：何月秋　责任编辑：何月秋　李含杨　王彦青
责任校对：李　伟　封面设计：马精明
责任印制：张　博
三河市国英印务有限公司印刷
2018年1月第1版第1次印刷
184mm×260mm·14.25印张·339千字
标准书号：ISBN 978-7-111-58530-5
定价：77.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
服务咨询热线：010-88361066	机工官网：www.cmpbook.com
读者购书热线：010-68326294	机工官博：weibo.com/cmp1952
010-88379203	金书网：www.golden-book.com
封面无防伪标均为盗版	教育服务网：www.cmpedu.com

“现代有轨电车系列丛书” 编写委员会

主　任　吴胜权

副主任　黄振晖　王贵国

委　员　(排名不分先后，按拼音排序)

曹　源　常胜利　董伟力　付稳超　杲晓锋
赫宏联　黎冬平　李　虎　刘威伟　孙桐林
王冬卫　王艳荣　王兆家　杨雪峰　臧晓艳
张　华　张建华　张天白　赵　云　周福林

“现代有轨电车系列丛书” 审查委员会

主　任　侯志刚

委　员　周军年　尹叶红　陈　亮　黄烈威　周新远
王文平　郭良金　李　娇　叶　彬　王洪奇
杨　光　甄大伟　张晓海

序

当前，我国城镇化进程正在不断推进，随着城市数量和规模的不断扩大，交通拥堵、环境污染及能源短缺等问题也日益突出，大力发展城市轨道交通已成为大多数城市的共识。现代有轨电车作为一种现代化交通方式，已在欧洲成功实现复兴，并逐渐成为当前国内关注的热点，许多城市都开始积极规划和建设有轨电车，天津泰达、上海浦东、沈阳浑南新区和苏州高新区等已相继开通了现代有轨电车系统。

《国务院关于城市优先发展公共交通的指导意见》中明确的总体发展目标是：科学研究确定城市公共交通模式，根据城市实际发展需要合理规划建设以公共汽（电）车为主体的地面公共交通系统，包括快速公共汽车、现代有轨电车等大容量地面公共交通系统，有条件的特大城市、大城市有序推进轨道交通系统建设。有别于传统有轨电车，现代有轨电车在控制、牵引供电和车辆技术上进行了更新，其载客量适中、安全舒适、快速便捷、节能降噪特点更加凸显，是城市轨道交通中低运量的典型制式，适合于大城市城市轨道交通网络的补充，中小城市和新规划城市的城市公共交通的骨干交通。因此，现代有轨电车将在我国迎来更大的发展。

现代有轨电车已被证明是一种成熟、安全的技术，但与所有交通制式一样，现代有轨电车自有其适用范围，过度夸大它的作用和放大它的缺点都不是科学的做法，唯有扎实做好基础工作才能保障现代有轨电车的持续健康发展。但我国现代有轨电车的相关工作还比较薄弱，存在着缺少建设实施标准、缺乏规划建设统筹和功能定位界定不清等问题，迫切需要更多的研究来推动相应产业和技术的发展。

本系列丛书是对2016年出版的《城市现代有轨电车工程基础》的进一步完善，更加深入地介绍了现代有轨电车工程的理论体系，包括前期规划设计、商务合作模式、建设施工、通信信号工程、机电工程、车辆制造和运营管理等内容。书中内容更加翔实，对人们全面系统地了解现代有轨电车系统及其配套工程具有较高的参考价值。

中国城市轨道交通协会副会长兼秘书长

中国城市轨道交通协会现代有轨电车分会会长

前 言

随着人口增长和城市化进程的加快，交通拥挤、环境污染等“城市病”已成为制约城市进一步发展的瓶颈。世界各国经验表明，发展大容量轨道交通是解决城市交通问题的重要方向。20世纪七八十年代以来，有轨电车新技术取得了突破性进展，有轨电车在世界范围内掀起了复兴建设的热潮，成为重要的轨道交通制式之一，也实现了从传统有轨电车向现代有轨电车的转变。我国城市轨道交通正处于大规模快速发展时期，这从根本上为现代有轨电车的发展提供了长效需求。《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》指出：“实行公共交通优先，加快发展城市轨道交通、快速公交等大容量公共交通，鼓励绿色出行。”《国家新型城镇化规划》（2014—2020年）提出：优先发展城市公共交通，积极发展快速公共汽车、现代有轨电车等大容量地面公共交通系统，科学有序推进城市轨道交通建设。

从相关国家政策可以读出两个方面的信息：一是从国家政策层面已经意识到城市轨道交通应该多模式、多层次发展，不能仅仅追求高大上，应根据城市的财力、物力等情况，以及轨道交通的适用性来综合考虑，量力而行；二是不管从国家城镇发展还是国家经济发展都提出要优先发展公共交通。而现代有轨电车作为城市大容量公共交通系统的一部分，发展前景很广阔。现代有轨电车提供了一种使用灵活、运量适中，服务品质高、运营成本低的城市轨道交通系统，能够有效填补大运量系统和普通公交之间的空白。现代有轨电车能够改善道路交通结构，提升骨干城市公交系统的服务品质，有力促进城市绿色出行、公交优先理念的推广和实现。此外，现代有轨电车也是旧城改造、有效引领新城发展、引导区域一体化发展及吸引产业投资的重要手段。

总体而言，现代有轨电车系统工程尚处于初步阶段：一方面，现代有轨电车建设是一个复杂的系统工程；另一方面，现代有轨电车刚刚兴起，目前国内缺少相关建设实施标准，虽然大多数城市跃跃欲试，却又缺少前章可循，存在规划建设缺乏统筹、功能定位界定不清等问题。

根据目前国内现代有轨电车的发展形势，本书作为“现代有轨电车系列丛书”的分册，针对现代有轨电车系统建设的前期决策，依据国家发展和改革委员会委托中国国际工程咨询公司组织编写并出版的《投资项目可行性研究指南》，以及国内数个现代有轨电车系统建设的前期研究案例，对现代有轨电车系统建设的前期研究进行了系统总结。本书可为现代有轨电车系统建设的前期研究及系统建设的决策人员提供借鉴与参考。

本书共分三篇，由吴胜权牵头，赫宏联、张建华、黎冬平、王贵国、苏国亮、徐军、孙应东、张艳协助编著。第1篇从现代有轨电车系统规划的角度，重点阐述了系统特点及如何分析系统建设的必要性（由张建华、赫宏联、王贵国编写）；第2篇从客流需求、工程技术选择、财务效益、社会效益、工程及社会风险等方面分析现代有轨电车建设的可行性

（由赫宏联、张建华、王贵国、黎冬平、孙应东编写）；第 3 篇对融资方案进行深化，研究了传统和新型的投融资模式，讨论了如何解决资金来源问题（由苏国亮、王贵国、徐军、张艳编写）。本书参考总结了国内数个现代有轨电车建设研究的案例，对现代有轨电车系统建设前期研究的科学性、规范化具有一定的意义。

在编写本书时参考了国内外发表的部分文章、资料和书籍，编者在此对有关作者表示诚挚的谢意。同时，对所有给予本书指导、支持和帮助的同志们表示感谢！

由于编者水平所限，遗漏、不足之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编者

目 录

序
前言

第 1 篇　现代有轨电车系统规划

第 1 章　现代有轨电车的特征及系统技术特征…… 2
1.1　现代有轨电车的特征 …… 2
1.2　现代有轨电车系统的技术特征 …… 2
第 2 章　现代有轨电车的应用模式…… 4
2.1　骨干型 …… 4
2.2　补充型 …… 5
2.3　特色型 …… 5
第 3 章　现代有轨电车的适应性条件…… 6
3.1　城市规模 …… 6
3.2　交通需求 …… 7
3.3　线路长度 …… 7
第 4 章　现代有轨电车线网规划设计方法…… 8
4.1　规划设计原则 …… 8
4.2　线网布局方法…… 10
第 5 章　现代有轨电车站线规划设计方法 …… 13
5.1　线路的规划设计…… 13
5.2　车站的规划设计…… 18
5.3　车辆基地的规划设计…… 19
5.4　车辆基地的建设模式…… 20
第 6 章　线网规划设计技术程序 …… 22
第 7 章　现代有轨电车规划一体化 …… 24
7.1　交通系统与土地使用的一体化…… 24
7.2　交通方式间的一体化…… 25
7.3　交通枢纽的一体化…… 26
7.4　交通运营管理的一体化…… 28

7.5　现代有轨电车线网规划实施关键 …… 28

第2篇　现代有轨电车可行性分析与决策

第8章　现代有轨电车可行性分析概论 …… 32
8.1　可行性研究 …… 32
8.2　主要设计原则与标准 …… 35
第9章　现代有轨电车运营及线路方案 …… 45
9.1　客流量预测 …… 45
9.2　运营方案 …… 52
9.3　线路方案 …… 58
第10章　现代有轨电车车辆及工程限界 …… 60
10.1　车辆选型原则 …… 60
10.2　现代有轨电车的分类 …… 61
10.3　车辆型式的比较 …… 61
10.4　车辆供电制式的选择 …… 62
10.5　工程限界 …… 64
第11章　建筑及机电设备工程 …… 66
11.1　建筑工程方案 …… 66
11.2　机电设备工程 …… 89
第12章　节能、环境影响评价与安全 …… 107
12.1　节能 …… 107
12.2　环境影响评价 …… 111
12.3　安全与消防 …… 114
第13章　现代有轨电车项目实施 …… 119
13.1　组织机构的设置 …… 119
13.2　机构适应性评价 …… 119
13.3　人力资源的配置 …… 120
13.4　项目实施进度 …… 120
第14章　投融资及财务分析 …… 125
14.1　投资估算 …… 125
14.2　融资方案 …… 130
14.3　财务评价 …… 132
第15章　经济评价、社会评价及风险分析 …… 137
15.1　经济评价与社会评价 …… 137
15.2　风险分析 …… 143
第16章　可行性研究支撑性文件及评估 …… 147
16.1　现代有轨电车可行性研究支撑性文件 …… 147

16.2　现代有轨电车可行性研究评估 …… 153

第3篇　现代有轨电车系统投融资模式

第17章　现代有轨电车BT模式 …… 159
17.1　BT模式的概念 …… 159
17.2　BT模式的主要类型 …… 159
17.3　BT项目的运作与实施 …… 161
17.4　BT项目的投资分析 …… 162
17.5　现代有轨电车BT模式案例分析 …… 171
第18章　现代有轨电车PPP模式 …… 173
18.1　PPP模式的定义及种类 …… 173
18.2　PPP项目的操作流程 …… 174
18.3　现代有轨电车PPP项目可行性缺口补助机制 …… 182
18.4　现代有轨电车PPP项目风险管理 …… 186
18.5　现代有轨电车PPP模式案例分析 …… 188
第19章　轨道+物业综合开发模式的研究与实践 …… 193
19.1　轨道+物业综合开发模式的概念 …… 193
19.2　轨道+物业综合开发模式的经济内涵 …… 193
19.3　轨道+物业综合开发模式的操作流程 …… 194
19.4　香港地铁轨道+物业模式 …… 197
第20章　现代有轨电车资产证券化模式 …… 200
20.1　资产证券化的概念 …… 200
20.2　ABS模式在现代有轨电车项目融资中应用的可行性 …… 200
20.3　ABS融资模式在现代有轨电车项目融资中的运作机制 …… 201
20.4　PPP项目ABS …… 203
20.5　南京麒麟现代有轨电车项目ABS融资的应用分析 …… 209
第21章　现代有轨电车PPP项目产业投资基金模式 …… 211
21.1　产业投资基金概述 …… 211
21.2　PPP产业投资基金的概念 …… 213
21.3　PPP模式下的产业投资基金运作方式 …… 214
参考文献 …… 217

第 1 篇

现代有轨电车系统规划

第 1 章 现代有轨电车的特征及系统技术特征

1.1 现代有轨电车的特征

在本书中，现代有轨电车的定义为：采用低地板模块化的轨道车辆，通过轨道承重和导向，主要铺设在地面，依靠司机瞭望行驶，按公交化模式组织运营的城市公共客运系统。

该定义突出了现代有轨电车的以下三个特征：

1）现代有轨电车仍属于轨道交通系统。现代有轨电车采用轨道车辆，具有轨道交通系统所具有的较大容量、节能环保等特点，通过轨道导向，具有固定行驶轨迹等特点。同时，现代有轨电车要求采用低地板模块化的车辆，这与地铁/轻轨等高地板车辆，以及传统有轨电车都具有显著差异性。相对于传统有轨电车，车辆性能有所改变，提高了速度和载客容量，降低了地板高度，增强了舒适性。

2）现代有轨电车的轨道主要铺设在地面，这必然会要求与道路交通之间存在较多的混合行驶状况，对于路权的要求将成为现代有轨电车运行特征的重要基础。在车辆能够承载较大容量后，现代有轨电车要争取专用车道，这是保障运行速度和可靠性的重要基础。同时，采用路口优先，通过设置交叉口信号优先，甚至采用局部立交的形式，这些使得现代有轨电车能够开始发挥中运量的公交特征。

3）现代有轨电车是依靠驾驶员驾驶、能够公交化运营的系统。这是区别于地铁和轻轨等专用路权下大容量轨道交通的重要特征之一。一方面，这使得现代有轨电车的投资和运营成本降低，同时也使得现代有轨电车的运营速度不可能很快；另一方面，现代有轨电车最好能够网络化运营，发挥公交化运营优势，这将很好地降低建设运营成本。

1.2 现代有轨电车系统的技术特征

现代有轨电车系统的技术特征，总体上表现为以下几个方面。

1）节能环保。现代有轨电车采用电力牵引，不产生燃烧废气，零排放、低污染，符合当前节能减排、生态城市的建设需求；人均耗能约为 0.07kW/座席乘客，仅相当于公交车的 1/4；噪声较汽车低 5 ~ 10dB（A），是一种节约能源的清洁交通工具。

2）中等运能。当前对于现代有轨电车系统的合理运能，大家的认识也相差较大，但总体上是认为界于地铁、轻轨和常规公交之间的系统。从国内外的经验来看，现代有轨电车的

高峰单向断面合理运能在 0.6 万 ~1.5 万人/h，是一种中等运能的公交系统。

3）舒适人性化。现代有轨电车一般使用 100% 低地板车辆，地板高出轨道面约 30cm，婴儿车、残疾车可以自由乘降；现代有轨电车在固定轨道上运行，当采用较长车辆增大运能时，仍能保证较好的运营稳定和乘坐舒适性，是一种舒适人性化的交通工具。

4）环境适应性强。主要体现在现代有轨电车采用流畅美观的车辆造型，配以一体化触网、支柱、照明与网格状草坪设计，能够与旅游、文化保护等景点具有更好适应性；现代有轨电车转弯半径小，最小为 10.5m，能够很好地在道路上铺设；同时，现代有轨电车的轨道制式使交通形象更为突出，具有更强的交通引导性。

5）建设灵活度高。现代有轨电车系统的投资相当于地铁的 1/6 ~1/4，是具有较为合理的运量投资比；同时，其建设形式相对灵活，能够与道路交通在道路上混行，建设周期较短，建设时间为 2 ~3 年。

第 2 章

现代有轨电车的应用模式

从国内对于现代有轨电车的需求来看，除了已经建成和正在建设的几条现代有轨电车线路外，很多城市正在开展现代有轨电车的前期研究。从国内的应用情况来看，其应用模式可以分为骨干型、补充型和特色型三种。

2.1 骨干型

骨干型是指将现代有轨电车作为特大城市新城内部或中小城市的骨干公交系统。

1. 特大城市新城内部骨干公交系统

在特大城市郊区新城，快速轨道交通线路的客流覆盖不强，同时在选择快速轨道交通线路时，往往是从建设的条件和引导开发功能考虑，如上海的轨道交通 9 号线、11 号线北段都是在位于松江或嘉定新城区的边缘，未贯通新城中心或老城区中心。因此，对于郊区城区，快速轨道交通线路主要是承担新城区对外的客流功能；而在新城区内部，可采用现代有轨电车作为新城区内部的骨干公交系统。

该应用模式需要注意以下几点：

1）至少有一条现代有轨电车线路与快速轨道交通车站衔接，并强调与快速轨道交通车站之间良好的换乘功能，从而形成新城内、外的一体化公交网络体系。

2）新城内部要形成现代有轨电车网络，发挥现代有轨电车的网络效益，同时线路长度和布设要基本符合客流的出行特征。

3）现代有轨电车线路要衔接新城地区中心区以及原郊区老城区，起到客流服务功能。

4）要注重现代有轨电车与常规公交、非机动车等交通方式之间的衔接。

2. 中小城市骨干交通系统

对于人口在 50 万～100 万的中等规模的城市，现代有轨电车系统作为城市公共交通的骨架，也可以形成网络，由常规公交车提供补充。这种情况在欧洲城市比较常见，如法国的波尔多，有三条有轨电车的骨干线，线路总长 43.9km。

该应用模式需主要注意以下几点：

1）发挥现代有轨电车的网络规模效益。线路应形成网络，各条线路之间能够方便地换乘。

2）保障现代有轨电车的技术特征优势。在运能和速度上能够体现主骨干公交系统的优势，尤其是作为主骨干系统，需要布设进入城市老城区等建设约束条件较多的区域，可以考

虑采用部分高架或地下等工程措施，提高现代有轨电车的适应性。

3）适度控制好现代有轨电车的线网规模。作为中等规模城市，应充分考虑到建设投资与客流需求之间的关系，从实际财政支撑和主骨干定位出发，应优先考虑提升主要骨干走廊的客运能力，而对于客流覆盖面，采用公共汽车等方式来满足。

4）处理好现代有轨电车线路交叉点。现代有轨电车的线路交叉点是多条现代有轨电车线路交汇的地方，尤其是十字交叉位置，往往是客流需求规模较大的点，当采取地面铺设时，现代有轨电车的运营直接受交叉口影响，可以考虑采用局部分离的方式来提升节点通过能力。

5）加强常规公交与现代有轨电车之间的换乘。根据现代有轨电车线路沿线站点周边用地及交通组织条件等，形成与公交的换乘枢纽，集聚客流。

2.2　补充型

补充型指将现代有轨电车作为轨道交通客流的补充线路。

一方面，部分城市轨道交通网络在城市公交出行中承担了越来越重要的作用，但同时高客流也给轨道交通带来了压力，尤其是在早晚高峰时段；另一方面，尽管中心城区轨道交通线网密度已经较高，仍有多条通道存在多条公交走廊，要再加密轨道交通线路难度较大，可以采用现代有轨电车系统，在中心城区作为轨道交通系统的骨干补充功能。

该应用模式需要注意以下几点：

1）现代有轨电车线路的布设和长度要与乘客的出行方向和起讫点基本一致，这样才能较好地发挥公交客运功能。

2）作为骨干补充功能，要加强与常规公交的换乘衔接。

3）要尽量与补充的轨道交通线路之间有衔接，以方便乘客的选择，同时在发生线路运行故障时能用另一条线路疏散。

2.3　特色型

特色型指将现代有轨电车作为旅游或特色区域公交线路。

现代有轨电车具有节能环保、形象突出、舒适性好等特点，在一些旅游景点，或者大型的活动场馆，可以采用现代有轨电车作为客流集散工具，并使其融入景点，作为整个环境的交通线和风景线。

该应用模式需要注意以下几点：

1）这种模式下重要的是体现现代有轨电车的形象特征和客流服务，因此对于运营速度并不非常强调，可以考虑采用混合路权等不同的形式，提高现代有轨电车的适用范围。

2）充分利用现代有轨电车建设的灵活性，结合景观要求，在铺设方式和断面布置上，采用多样化的布置形式，加强现代有轨电车系统与周边环境的融合设计。

3）对于现代有轨电车线路的长度和铺设方式，可以根据实际情况来确定，可以采用单线铺设，也可以在步行街上铺设与行人共享街道等方式。

第 3 章 现代有轨电车的适应性条件

3.1 城市规模

梳理分析国内相关城市现代有轨电车规划案例，从这些应用情况来分析现代有轨电车规划建设的城市规模条件。

1. 现状常住人口规模为 50 万～150 万人

根据研究，现代有轨电车有较为实质性线网规划阶段的城市现状常住人口规模为 50 万～150 万人的有两种情况：

1）整个城市的范围，如泰州、湖州、台州、淮安等地。在这种情况下，现代有轨电车线网规划研究的范围包括整个城市，这些城市的现代有轨电车线网方案都是整体性的。

2）城市某个地区的范围，如上海松江、苏州高新区、武汉大汉阳等地区。在这种情况下，现代有轨电车的线网规划研究的范围是在该区域，一般与外部区域之间的联系相对较弱。

2. 规划常住人口规模基本超过 100 万人

各城市或地区规划常住人口规模基本超过 100 万，部分超过 300 万人。从规划的发展趋势来看，总体是在 100 万～200 万人。

分析其原因有以下两点：

1）作为城市来说，对于现状人口在 100 万人左右的、部分达到 150 万人的城市，近期内要发展快速轨道交通的难度比较大，本身的客流需求难以支撑发展快速轨道交通，转而寻求建设现代有轨电车。同样地，对于这些城市，在总体规划确定人口规模时，远期的发展规模一般在 200 万人左右，两者之间形成了相互支撑的关系。

2）作为城市的地区来说，作为地区研究现代有轨电车的城市一般都已建设有轨道交通系统，如上海的松江、奉贤南桥、苏州高新区等，这些地区的人口规模主要控制在 100 万～200 万人。其中的主要原因是：一方面，随着轨道交通的建设和运营，轨道交通实际客流与预期效益、建设与运营成本的切身认识更为直接，一些外围地区发展时，开始转向投资较为经济的现代有轨电车；另一方面，规划人口规模不大是基础，如果人口规模较大，会规划建设轨道交通系统，而不是单独采用现代有轨电车。

3. 与城市经济规模相关性不显著

从各城市的 GDP 和人均 GDP 的分布来看，差异很大，这也说明在某种程度上，对于不

同城市，当人口规模达到一定时，都有要发展快速公共交通系统的需求。

3.2　交通需求

1. 单向高峰断面客流约 0.7 万人次/h

单向高峰断面是进行工程设施规划控制的重要基础，也是判断现代有轨电车适应性的关键依据参数。分析国内案例统计表明，单向高峰断面客流平均值为 0.69 万人次/h。

从分布来看，为 0.4 万 ~0.8 万人次/h 的单向客流高峰断面最大，也说明各地较为适应现代有轨电车建设的断面需求。

2. 线路负荷强度为 0.7 万 ~0.8 万人次/(km · 天)

线路的负荷强度也是线网规划中非常重要的参数。一般匡算线网合理规模时，采用客流需求规模的方法，往往需要参照线路负荷强度进行计算。进行国内案例线路中的负荷强度计算后，平均值为 0.76 万人次/km · d。

从线路负荷强度的分布来看，总体分布较为均衡。比例最高的是 0.4 万 ~0.6 万人次/(km · 天)，其次为 0.6 万 ~0.8 万人次/(km · 天)。

3.3　线路长度

现代有轨电车的合理线路长度是进行线网规划时的重要内容，统计各城市规划的现代有轨电车线路长度的结果表明，单线平均长度为 16.7km。

从线路分布情况来看，规划线路长度主要集中在 15 ~20km，其次是 10 ~15km。两者约占总比例的 50%。总体来看，现代有轨电车的线路长度为 10 ~20km 也是较为合理的长度。

第 4 章 现代有轨电车线网规划设计方法

4.1 规划设计原则

根据现代有轨电车的技术特征和功能定位，其规划设计总体上应处理好以下各种关系。

1. 与城市用地的关系

1）现代有轨电车线网规划应与城市发展、空间结构及用地布局紧密结合，支撑城市总体规划，引导城市发展，实现交通与城市发展的互动。

2）现代有轨电车系统的功能定位应与地区特征相协调，应根据城市不同区域规划情况和发展特征，确定不同的功能定位和发展目标。

3）现代有轨电车的规划应与城市用地性质协调，高效、便捷地串联地区主要人流集散点、商业活动发达地区和主要居住区。线路沿线用地布局应兼顾客流发生和吸引源，保障线路运营效率。

4）为保障现代有轨电车的实施，应对规划线路沿线和场站设施周边用地进行严格的控制。

5）为充分发掘现代有轨电车对城市发展的推动作用，实现交通与城市一体化发展，应制订现代有轨电车与土地协调发展策略，优化完善站点周边用地规划和交通设施规划，提高交通设施利用率，促进沿线土地的集约利用。

2. 与其他交通方式的衔接

1）现代有轨电车系统应与城市对外交通、城市常规公交、大运量轨道交通、机动车、自行车和步行等系统合理衔接，形成多层次、复合、高效的综合交通系统。

2）现代有轨电车系统依托交通枢纽与其他交通方式衔接，应根据交通功能将枢纽划分等级，并使不同等级的枢纽形成与之相适应的用地布局特征和配套交通服务。

① 与大型对外交通枢纽或轨道交通换乘站点作为一级枢纽。

② 与三条以上常规公交线路换乘的站点作为二级枢纽。

③ 其他站点作为三级枢纽。

3）现代有轨电车与大运量轨道交通换乘的，换乘距离宜小于 150m。

4）站点周边应加强慢行交通设施布局规划，提高现代有轨电车服务范围。

3. 与道路系统的关系

1）现代有轨电车作为主要布设于城市道路上的地面公共交通方式，应强化道路铺设方

式和断面布置形式规划设计，实现现代有轨电车与道路交通间的协调。

2）现代有轨电车原则上不布设于快速路和交通性主干道上，适宜布设于一般主干道或次干道上，以实现道路交通功能和公共交通功能在通道上的分流，有利交通组织，减少相互干扰。对于布设于支路或绿化带内的现代有轨电车线路，应结合线路两侧用地规划和交通特征，采取特殊交通组织方式。

3）在线路选线专项规划阶段，应对现代有轨电车沿线道路交通组织方案进行专题研究，并采取相应的交通管理措施，以实现全线行车速度目标。

4. 与常规公交系统的关系

1）现代有轨电车网络依托于常规公交网络进行规划，是对常规公交系统的整合与提升。

2）与现代有轨电车线路复线较长的常规公交线路，应对线路进行优化调整，强化换乘衔接。

5. 选线布局和运营组织原则

1）线路走向和车站布设应与城市用地布局和交通需求紧密衔接，支撑地区发展，引导城市拓展。

2）现代有轨电车规划应首先形成网络，各条线路间宜预留网络化运营条件，为适应现代有轨电车线路的灵活运营组织提供基础。

3）线路走向应与城市主要客流走向一致。

4）线路规划应与城市轨道交通建设、城市道路建设紧密结合。

6. 网络设施资源共享

1）资源共享是集约利用土地、高效发挥设备效益、节省投资的主要措施。

2）资源共享要求每一条单独的线路连成整体的网络，让每条线路的设备成为网络中的公共资源。资源共享的线路之间设置联络通道是资源共享的必备条件之一。

3）按照不同类型车辆分类，一般同类型车辆资源共享。

4）运营管理趋向于集中、统一，体现出运营管理的先进性、整体性和网络化。一般情况下，一个新城设置一处车辆段和一处控制中心。

5）现代有轨电车车辆基地，应充分考虑与其他设施的结合，以集约化利用土地。建议重点考虑与常规公交站场、社会公共停车场、公建设施等结合，预留合建的条件。

7. 环境景观

1）现代有轨电车环境保护设计应遵循统一规划、合理布局、综合治理、防治结合的原则。

2）现代有轨电车车型选择应优先考虑成熟、安全、经济、可靠和环保的车型。

3）现代有轨电车外形设计应综合考虑地区形象、周边环境等影响。

4）现代有轨电车运行时产生的振动、噪声等问题应满足国家或行业现行相关设计规范的要求。

5）现代有轨电车在选线阶段应充分考虑沿线既有、潜在的环境影响源，并在实施阶段采用适当措施，以满足环境影响评价（简称环评）要求。

4.2　线网布局方法

1. 线网规模计算方法

线网规模宏观上反映了现代有轨电车设施的服务水平，关系到客流强度和建设投资规模，关系到规划建设用地的长远控制。通过对线网总体规模的控制，现代有轨电车可以与城市交通需求、经济发展水平相协调。

进行线网规模论证时，首先对影响线网规模的一系列因素进行分析，确定影响总体规模的主要参数，研究确定现代有轨电车线网的适宜规模。

（1）线网规模的影响因素

1）城市规模。城市规模包括城市人口规模和用地规模。人口规模决定了交通出行的总量，用地规模影响居民出行时间和空间分布，城市规模决定了城市交通需求的特性。

2）城市空间结构。城市空间结构可以呈现组团式、圈层发展式和带状等不同的布局形态。城市空间结构的布局形态决定了现代有轨电车线网的形态，不同的城市空间结构形态要求不同结构的线网与之相适应。在城市人口规模相同条件下，不同城市空间结构形态会形成不同规模的线网。

3）城市经济社会发展水平。城市经济社会发展水平对一个城市交通系统的影响是多方面的。一方面，伴随城市经济社会发展水平的提高，居民对交通设施服务水平的要求也在提高，对能提供更高服务水平的现代有轨电车公交方式服务的需求当然也在增加；另一方面，现代有轨电车建设运营的投资，与地铁和轻轨相比有较明显的优势，但还是需要一定的城市经济实力支撑。总之，现代有轨电车线网的规模应与城市经济社会发展水平相适应。

4）居民出行特征。居民出行特征包括出行强度、出行时间分布、出行空间分布以及出行方式等，现代有轨电车线网的规模应与城市居民出行特征相匹配，同时引导城市交通向更可持续的方向发展。

5）城市交通发展目标与策略。城市交通发展目标与策略是影响整个城市交通系统发展路径的重要因素，尤其是交通方式分担目标的确定将极大地左右城市交通的演变轨迹，从而对现代有轨电车系统的规模产生重要影响。

（2）技术参数与规模测算　下面给出现代有轨电车线网规模的计算方法，并以泰州市为例进行分析。

在泰州城市交通中，现代有轨电车系统作为第一层次的骨干公交系统，在测算其线网规模时，参照轨道交通线网规模的测算方法，分别按照交通需求、万人拥有率和线网密度等算法来匡算。由于城市总体规划的规划年为 2020 年，而现代有轨电车的发展年限较长，因此结合城市发展分析远景 2030 年的线网规模。

1）客流负荷强度法。客流负荷强度法在交通需求总量预测的基础上，结合城市交通发展目标和战略，确定现代有轨电车承担的客运量，参照现代有轨电车的合理线网负荷强度，最终确定线网的合理规模。测算公式为

$$L = Q\alpha\beta/\gamma \tag{4-1}$$

式中，L 为线网长度（km）；Q 为预测年公交出行总量（万人次/d）；α 为轨道交通出行占公交出行的比例；β 为现代有轨电车换乘系数；γ 为现代有轨电车线网负荷强度［万人次/(km・d)］。

2）万人拥有率法。城市的人口总数反映了交通需求趋势以及对现代有轨电车的需求程度，由此来计算确定现代有轨电车的线网规模。测算公式为

$$L = M\delta_1 \tag{4-2}$$

式中，L 为线网长度（km）；M 为城区总人口（万人）；δ_1为人口线网密度（km/万人）。

3）线网密度法。按照城市建设用地面积来计算现代有轨电车的线网规模，实质上表示了现代有轨电车线网的覆盖面。测算公式为

$$L = A\delta_2 \tag{4-3}$$

式中，L 为线网长度（km）；A 为预测年的城市建设用地面积（km^2）；δ_2为面积线网密度（1/km）。

2. 面、点、线分析与控制点优化法

面、点、线分析与控制点优化法是以对大城市空间结构的认识和大城市中长距离机动车交通需求的把握为基础，对城市空间结构布局中的重要节点、主要的中长距离机动车交通需求流径期望线的分布、大城市与区域干线公路网的衔接以及快速路系统线网的整体结构形态等进行分层次的分析研究，并考虑快速线路走向的主要控制点，对线路走向进行优化的方法。要充分考虑定性分析与定量分析相结合，近期与远期相结合。

由于土地、人口和基础设施投资的压力，现阶段我国大部分大城市的基本形态是高密度的单中心同心圆发展模式，城市空间结构以单核点状、十字星状为主，少数大城市是线形带状的空间结构形态。随着我国经济社会的发展及城市化进程的推进，多中心、有机分散应该是我国大城市未来合理的发展方向，大城市呈“章鱼状”形态发展，城市空间结构以多核网状为主。

大城市快速路系统线网规划是一个庞大而复杂的系统工程，线网的构建必须分类分层进行。面、点、线既是三个不同的要素，也是三个不同的层次。

面代表整体、全局性的问题，即快速路系统的线网结构、快速路系统规模与区域系统的衔接等；点代表局部、个体性要素，即城市空间结构布局的重要节点，如城市各分区域组团、卫星城镇、开发区、机场、港口及车站等；线代表方向性要素，即快速线路走向或城市交通走廊的分布、城市中长距离交通出行期望线等。

（1）面的分析　面的分析考虑的是快速路系统整体、全局性的问题，主要是快速路系统线网的结构。快速路线网要与城市空间结构相协调。现阶段我国大部分大城市的基础形态是高密度的单中心同心圆发展模式，少数大城市是线形带状的空间结构形态。多中心、有机分散应该是我国大城市未来合理的发展方向，大城市呈“章鱼状”形态发展，所不同的是大城市主体——章鱼体的大小、结构以及伸展轴——章鱼触角的强弱、多少的差异。较普遍观点认为，与我国大城市现在的高密度的单中心同心圆发展模式和大城市未来“章鱼状”发展模式相适应的快速路系统线网结构是环射状结构。

需要指出的是并不是说所有的大城市都要采用环射状快速路系统，部分大城市空间结构呈线形带状、历史名城保护、利用原有路网格局及自然条件限制等原因，可能会根据实际情况选择线形带状、棋盘状、自由式及混合式快速路系统。例如，城市空间结构呈线形带状的兰州市可能选择线形带状快速路系统，武汉市由于其特殊的自然、地理条件可能会选择自由式或混合式快速路系统，西安市出于历史名城等原因可能会选择棋盘式或混合式快速路系统等。

（2）点的分析　点就是城市空间结构布局中的重要节点，包括城市中心区、各功能分区或组团、卫星城镇、经济技术开发区、大型文体活动中心、机场、港口、火车站及长途汽车客运站等，它们是城市中所有重要活动实现的场所。随着城市化进程的推进，大城市不断地通过向外拓展和内部重组来实现城市空间结构的优化调整，大城市规模进一步扩大，大城市不再追求高度集中的密集型布局，转而向分散的功能组团的方向发展。生活居住、工业、商业、开发区及对外交通枢纽站场等不同的城市功能，将分散到城市各个合理的方位，地域的分隔愈加明显，空间距离逐渐加大。为了保证城市功能的正常发挥，提高城市活动运转效率，促进与支持空间结构的合理调整，必须通过快速路系统连通这些城市功能分区，使大城市各个重要节点之间的空间距离从时间上加以缩短，使各个重要节点建立便捷的联系。

（3）线的分析　线的分析主要研究快速路系统线路的走向，分析大城市内部中长距离交通出行期望线，大城市主要对外交通走廊。线要素的研究重点就是寻求大城市内部中长距离交通流径线路和大城市对外交通走廊。快速路系统线路走向应尽可能地与大城市内部中长距离交通出行期望线、对外交通走廊保持一致，并合理地将大城市空间结构布局中的重要节点像“串珍珠”般地串联起来。大城市内部中长距离交通流径期望线和大城市对外交通走廊的寻求可从交通需求预测结构分析中得出。

另外，快速路系统的建设是以新建和改建相结合的办法进行的。大城市快速路系统构架如图 4-1 所示。

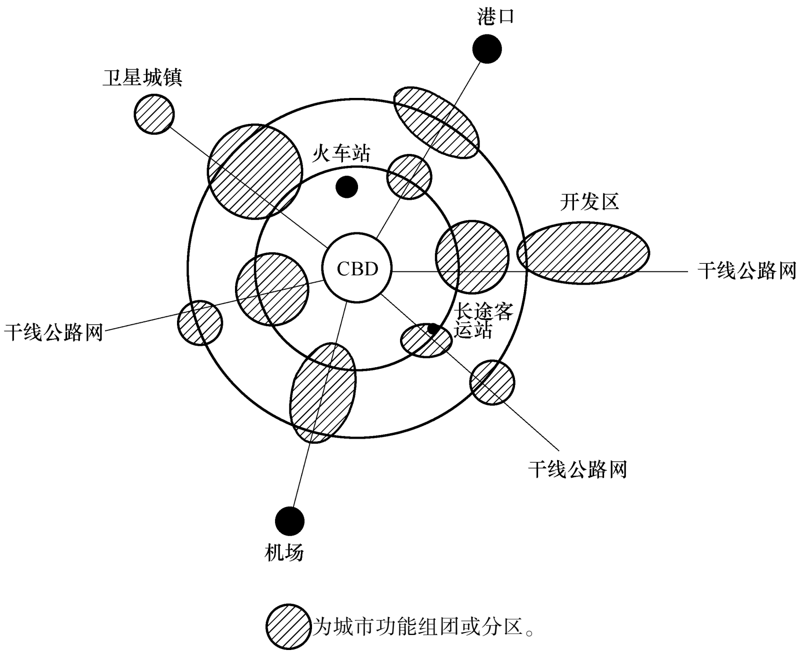


图 4-1　大城市快速路系统构架

第5章 现代有轨电车站线规划设计方法

5.1 线路的规划设计

1. 车辆限界

现代有轨电车直线段的车辆限界分为限界宽度和限界高度两方面。通过限界宽度可以分析系统占用的城市道路资源状况，通过限界高度可以分析城市道路净空与现代有轨电车的相互制约关系。

由于现代有轨电车基本上在地面上运行，沿线的主要设备就是供电系统。对于采用受电弓供电的现代有轨电车，建筑限界宽度主要考虑安装电线杆的需求以及车辆转弯时的通行加宽要求；采用无受电弓供电的现代有轨电车无电线杆，其限界宽度可以进一步缩小。电线杆的不同布置方式如图5-1所示，现代有轨电车在曲线段的限界加宽如图5-2所示。

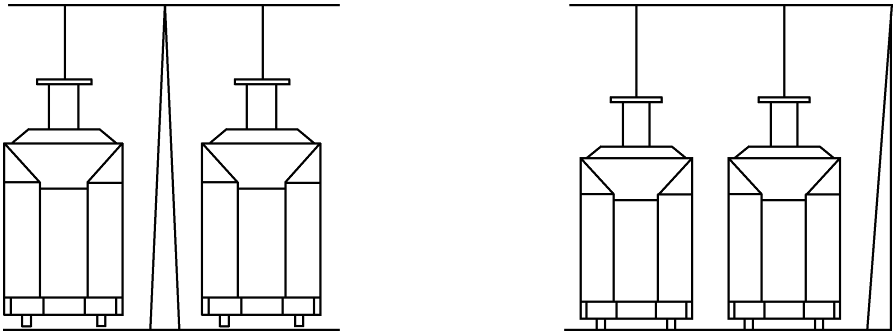


图5-1 电线杆的不同布置方式

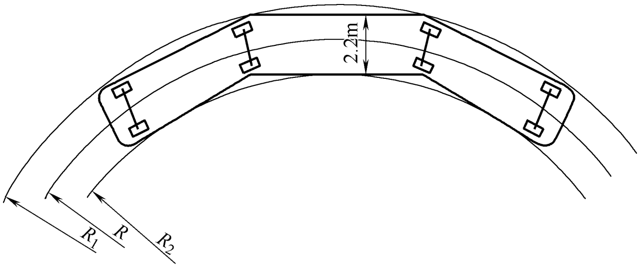


图5-2 现代有轨电车在曲线段的限界加宽

现代有轨电车车辆宽度为2.2～2.65m，限界尺寸也有较大差异；当为双线时，建筑限界宽度（行车道宽度）的直线段为6.6～7.6m，在转弯处需要进行加宽。单线的现代有轨电车限界加宽值小于0.45m，双线行车道加宽值由于线间距减小的原因并非为单线加宽的两倍，一般小于0.82m。由于现代有轨电车的车厢长度短，铰接部位多，因此线路转弯时的限界加宽并不多，对其他交通的干扰较少。

现代有轨电车车辆限界高度主要由受电弓正常工作时的最小收缩或最大提升高度决定。根据各种车型车辆高度、受电弓性能的不同，受电弓最低高度一般为3.3～4m，最大高度一般为6.5～7m，这两个高度决定了现代有轨电车接触网的高度范围。

根据CJJ 37—2012《城市道路工程设计规范》的要求，运行各类机动车的城市道路最小净高标准为4.5m，现代有轨电车受电弓的最低高度小于该值，因此在立交桥等处的净空满足现代有轨电车运行的条件；而现代有轨电车接触网下的净空也满足城市道路交通通行的要求。

2. 线路长度

现代有轨电车的单条线路长度受到很多因素影响。不同交通制式有不同的最佳服务长度，应根据现代有轨电车的适用特性，确定最佳的线路长度，防止因线路过长而增加旅行时间。过长的乘坐时间会造成路途疲劳，一般乘客乘车时间为10～50min，线路的设计需要考虑到乘客乘坐的舒适性要求；同时，过长的驾车时间也会使驾驶员疲劳，从而降低驾车注意力，造成交通事故发生率提高。因此，选择合理的线路长度极为重要。

作为交通骨干的现代有轨电车，线路长度取决于城市覆盖范围，长度一般为10～20km，连接市区郊区以及城市外围组团之间的线路长度由两地区之间的距离决定，一般为15～25km，特色功能线路的长度主要取决于其具体功能。

因此，对于承担了骨干公交的现代有轨电车线路，长度应控制在10～20km；而对于承担线路集聚和特色功能线路，长度取决于其具体功能。

3. 铺设形式

现代有轨电车线路的铺设形式有地面、高架和地下三种。

国外现代有轨电车基本采用全线地面铺设，如法国斯特拉斯堡、波尔多等。法国巴黎1997年开通的第二条线路，由原来的一条工业铁路改造而成，因此路权等级较高，基本为有隔离设施的独立路权，仅有少数交叉口采用平交方式。

国内上海、天津等城市的现代有轨电车均采用全线地面敷设方式，长春、大连等部分城市现代有轨电车采用地面铺设、局部高架的铺设方式。上海浦东张江现代有轨电车项目一期工程，线路全长8.96km，共设置了15个站点，全部采用地面铺设方式。大连有轨电车202路建自20世纪初，21世纪初，大连市有关部门投资改造了该线路，线路全长12.6km，共设置了19个站点，其中的1.9km为高架段。从现代有轨电车的车辆技术特征来看，其相对于地铁或轻轨等快速轨道交通方式，较大的不同点是：通过对车辆的改建，以适应地面的低地板运行，如果采用长距离的高架或地下布置，将无法发挥该改进优势。

而采用长距离的高架或地下等铺设方式，完全可以采用技术和经济性更好的高地板车辆；同时，土建费用以及由于完全封闭路权带来速度提升后，为了保障行车安全，而使得通信系统费用的增加，也将失去现代有轨电车经济性的优势。

因此，现代有轨电车的铺设方式应以地面铺设为主，当局部跨越高速公路、快速路、交

叉口，以及地块开发或道路条件不足时，可以采用地道或高架等形式，充分发挥和适应现代有轨电车的技术特征。

4. 断面布置

（1）不同断面布置方案的特征（见图 5-3 ~ 图 5-5）　中央布置方案：现代有轨电车双线集中铺设于道路中央，机动车及非机动车道布设于现代有轨电车两侧。两侧布置方案：现代有轨电车双线分设于道路两侧的非机动车道上，站台设置于人行道上，非机动车道设在道路最外侧。单侧布置方案：现代有轨电车双线集中布设于道路一侧的非机动车道上，站台设置于人行道上和机非分隔带上，非机动车道设在道路最外侧。

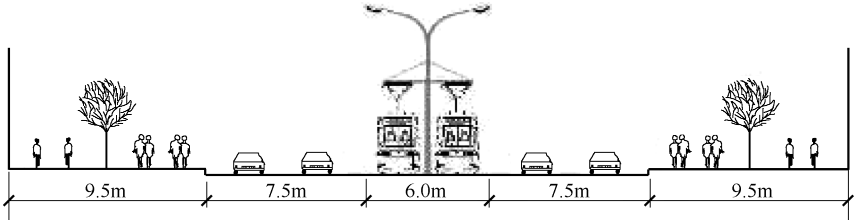


图 5-3　中央布置方案断面示意图

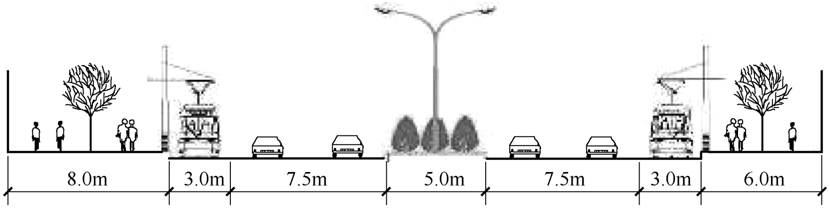


图 5-4　两侧布置方案断面示意图

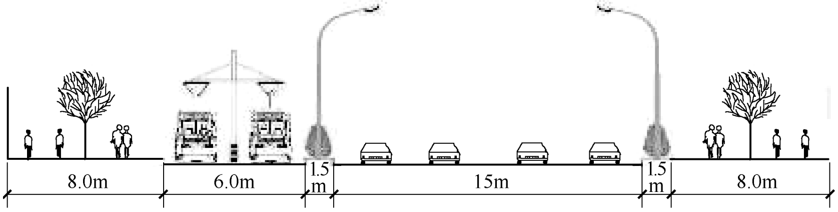


图 5-5　单侧布置方案断面示意图

在单侧布置方案中，双向轨道集中在道路一侧布置，减弱了对道路分割的影响，行人过街较易处理，但是需要对现有道路断面进行较大的改造；现代有轨电车布置在道路一侧，对沿线该侧单位的出入以及公交停靠和路边停车影响很大。因此，该方案适用于道路一侧开发建设趋于成型，而另一侧开发强度不大的道路，不适用两侧开发强度都很大的道路。中央布置和两侧布置方案对运营配线、现代有轨电车升级、站台设置和工程量等方面的影响见表 5-1和如图 5-6 ~ 图 5-10 所示。

表 5-1　中央布置和两侧布置方案的比较

项　　目	中 央 布 置	两 侧 布 置
配线	车辆折返不影响交通	车辆折返需要中断交通
现代有轨电车系统升级	对道路分隔作用小，易升级	对道路分隔作用大，与非机动车干扰，需设护栏
站台	形式灵活	形式单一
工程量	车站处需增设过街辅助设施	可不设过街设施
对出入口交通影响	影响沿线出入口左转交通	影响沿线出入口左、右转交通
对路口交通的影响	沿线左转交通量小，对沿线道路通行能力影响小	沿线右转交通量较大，对沿线道路通行能力影响较大
对路段交通影响	无影响	车辆停靠存在冲突
行人影响	影响小	有影响，需设置护栏

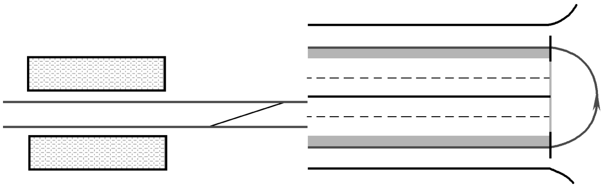


图 5-6　折返线

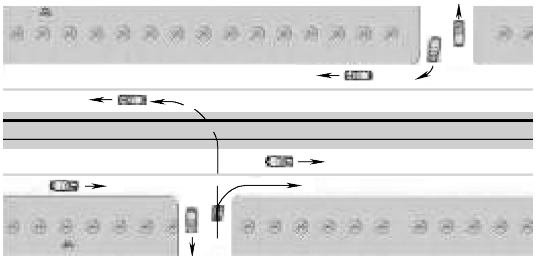


图 5-7　中央布置对出入口交通的影响

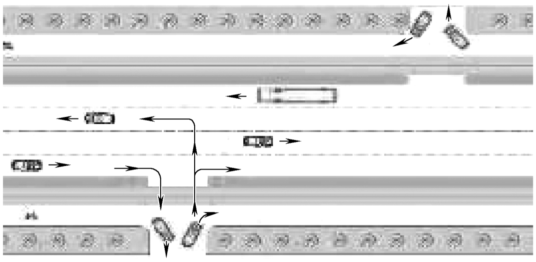


图 5-8　两侧布置对出入口交通的影响

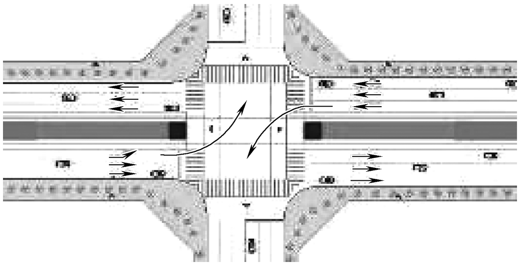


图 5-9　中央布置对交叉口交通的影响

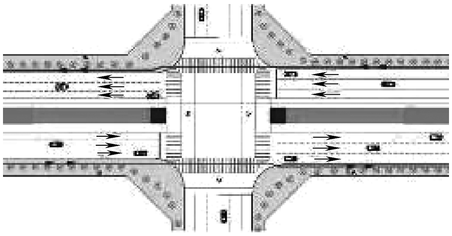


图 5-10　中央布置对行人交通的影响

因此，当进行现代有轨电车车道横断面布置时，不同布置方案的适用情况见表 5-2。

表 5-2　现代有轨电车车道布置方案的适用情况

布置方案	适用情况
中央布置	1）道路资源比较充足，道路有可供改造的中央分隔带或侧分带 2）线路沿线交叉口较多，或线路两侧出入口较多 3）线路需要较宽的运营速度时
单侧布置	1）线路一侧的出入口较少，一般为沿河河流或公园的线路 2）沿线交叉口少 3）机动车单行道上，靠近机动车道一侧线路方向应与机动车同向
两侧布置	一般用于既有道路不能做较大改造，只能在两侧拓展或在非机动车道上铺设的线路

（2）不同断面布置方案对道路平面线形的影响　现代有轨电车多采用独立轮对的转向架结构，且运行速度比地铁系统慢，其通过最小平面曲线半径与地铁车辆相比大为减小，由此也使得对道路平面线形的适应性大为加强。

根据 CJJ 37—2012《城市道路工程设计规范》，一般十字形交叉口路缘石的最小半径建议为：主干道为 20～25m，次干道为 10～15m，支路为 6～9m。现假设路缘石半径为 10m，现代有轨电车平面最小曲线半径为 25m，对现代有轨电车在交叉口转弯情况进行分析，如图 5-11和图 5-12 所示。

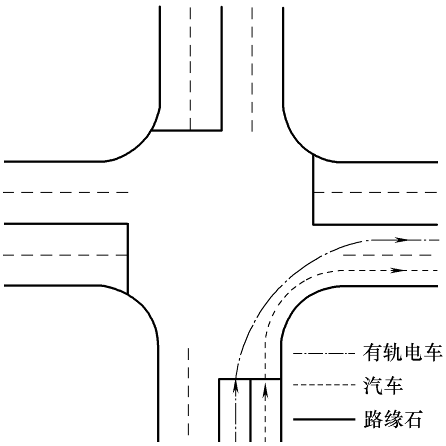


图 5-11　中央布置（右侧一条车道）

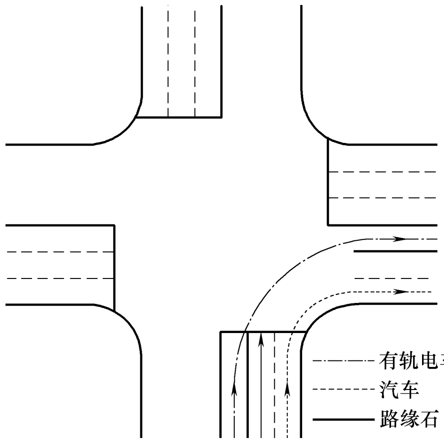


图 5-12　中央布置（右侧两条车道）

从图中可以看出，当现代有轨电车采用中央布置时，在交叉口转弯处，无须对内侧路缘石进行翻挖改造。当线路内侧只有一条车道（见图 5-11）时，现代有轨电车与社会车的转弯轨迹较为接近，机动车会侵入现代有轨电车的限界范围，需要通过信号控制保证转弯处的行车安全；当线路内侧有两条车道（见图 5-12）时，同向转弯车辆之间无干扰。

当采用单侧布设时（两侧对称布置情况相同）、现代有轨电车的线路转弯时必须对交叉口路缘石进行改造，若原街角处有建筑物还会带来一定的拆迁量；同时，由于转弯半径的影响，现代有轨电车停车线和位于交叉口的车站都需要后移至距交叉口较远的位置，如图 5-13所示。

因此，从不同断面布置方案转弯时对平面线形的影响来看，采用中央布置的影响较小，而采用单侧或两侧布置时，转弯时需要有较大的转弯空间，对转弯一侧的用地影响较大，适于该转弯处用地较为宽裕的情况；在老城区、交叉口周边用地紧张的路段，则适应性较差，或者只能采用转弯半径小的胶轮导轨车辆。

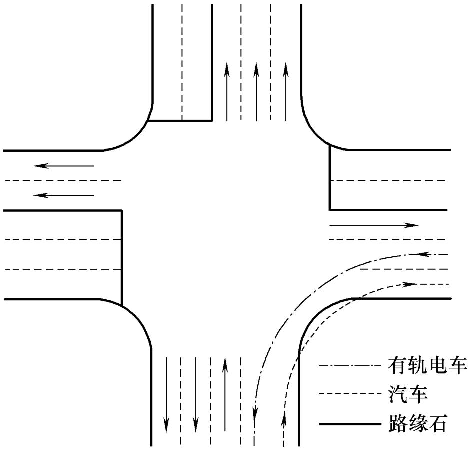


图 5-13　单侧布置

5. 纵断面条件

城市道路对现代有轨电车的影响主要是纵坡的制约。由于钢轮钢轨间的摩擦因数与胶轮和路面间相比较小，因此钢轮钢轨现代有轨电车的爬坡能力与汽车相比稍有不足，但其单位自重下的牵引功率以及分散的动力，使得现代有轨电车通过纵坡的能力与传统系统车辆相比有较大提升。在城市道路中，计算行车速度在 30km/h 以上的道路，其推荐纵坡值均小于 7%。根据此标准，即城市次干路Ⅰ、Ⅱ级，城市支路Ⅰ级以上道路都可以运行各种现代有轨电车。对于更大纵坡的道路，通过合理的车辆制式选择同样可满足要求。因此，现代有轨电车通过纵坡的能力可以满足城市道路的要求。

5.2　车站的规划设计

（1）车站设置的原则　车站直接服务于乘客，一般应遵循以下原则。

1）尽可能靠近客流集散点，为乘客提供方便的乘车条件。

2）在城市交通枢纽、轨道交通线路之间与其他轨道交通交汇处设置车站，使之与道路网及公共交通网络密切结合，为乘客创造良好的乘车条件。

3）应与城市建设密切结合，与旧城房屋改造和新区土地开发结合。

4）尽量避开地质不良地段，尽可能减少对周围环境的干扰。

5）兼顾各车站间距离的均匀性，站间距应根据现状及规划的城市道路布局和客流的实际需要确定。

（2）影响车站分布的因素

1）大型客流集散点：大型客流集散点往往是城市政治、经济活动中心，是城市的窗口地段。这样的地段不但客流数量大，而且集中，对地面交通压力很大。

2）城市规模的大小：城市规模的大小包括城市建成区和规划区域的面积及人口。当地区面积大、人口多、密度大、线路客流大、线路长及乘距长时，车站分布宜稀疏一些，反之，车站分布宜密集一些。

3）城市地貌及建筑布局：城市中的江、河、湖、山和仓库区等人口密度低，线路穿过这些区域是可以考虑不设站，若有开发公园条件，可考虑。

（3）车站分布对市民出行时间的影响　车站数目的多少直接影响居民乘坐轨道交通的出行时间。车站多，市民步行到车站距离短，节省步行时间，可以增加短程乘客的吸引量；

车站少，则相反，提高了交通速度，减少了乘客在车内的时间，可以增加线路两端乘客的吸引量。

（4）车站分布的比选　由于车站造价高，车站数量对整个城市轨道交通系统的工程造价影响较大。在进行线路规划时，一般要做 2 ~ 3 个车站数量与分布方案的比选，比选时要分析乘客使用条件、运营条件、周围环境以及工程难度和造价等几个方面，通过全面、综合的评价，确定推荐方案。

5.3　车辆基地的规划设计

（1）车辆基地的概况　现代有轨电车需要有一定规模的车辆基地满足车辆停放、维修保养等要求。

现代有轨电车车辆基地的设置规模和总平面布置应符合整体规划要求，在满足工程地质、水文条件及供电、供水条件的情况下，应尽量结合周边规划要求、道路规划要求，合理地进行总平面布置，在遵循工艺优先原则的前提下，尽量减少工艺占地规模。

（2）车辆基地用地控制的重要性　车辆基地是轨道交通工程中最主要的组成部分之一，对于现代有轨电车来说，也同样如此。

1）车辆基地是现代有轨电车系统工程的重要组成部分。对于一条完整的现代有轨电车线路，从结构上来说，车辆基地是必不可少的，没有车辆基地，一条线路就无法进行运营。

2）车辆基地是保证有轨电车系统安全运行的总后勤部。保障一条线路的正常运营需要一个完善的管理中心，负责控制、调度及应急处理等事务。而这个管理中心需要布置在车辆基地中，所以从配套运营的角度来说，车辆基地同样也是不可或缺的。

3）车辆基地占地大、投资多，对现代有轨电车工程建设的影响大。车辆基地一般占地都较大，同时投资也是现代有轨电车工程中最主要的部分之一，而其对于一条现代有轨电车线路能否成功运行又是最为重要的环节。所以，在线网规划阶段就应该着重考虑车辆基地的用地控制，确保规划线路的可实施性。

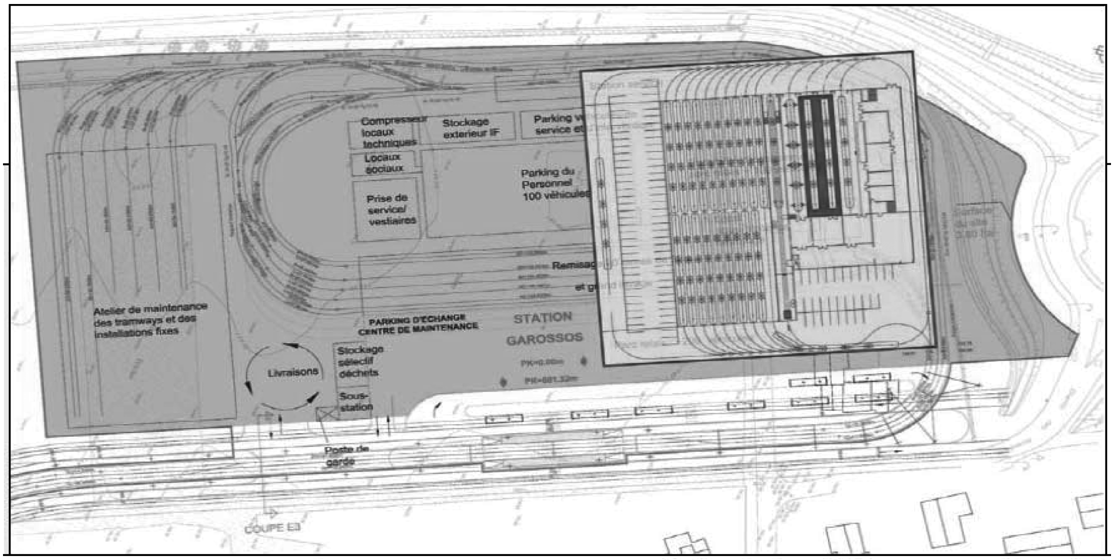
（3）车辆基地的分类　车辆基地一般分为甲级基地、乙级基地以及丙级基地。从规模上来说，甲级最大，功能最全；乙级和丙级依次递减。

甲级基地主要为车辆段，其中需包含厂架修段或定修段，综合维修中心，物资总库等。

（4）车辆基地的建设经验　车辆基地内设有车辆运用整备、检修维护设施及必要的办公、生活用房。考虑到现代有轨电车线路的特点，在现代有轨电车线网下，可将部分线路的车辆基地进行归并，节约土地资源，同时整合检修维护设施。

在停放同等车辆情况下，由于车辆转弯半径和检修工艺的不同，钢轮钢轨车辆基地比胶轮轨道车辆基地需要占用更多的用地，如图 5-14 所示。

国内已有的天津和上海现代有轨电车车辆基地的占地面积为 3 ~ 4ha；而规划的苏州高新区现代有轨电车车辆基地为 8 ~ 9ha。根据国外钢轮钢轨现代有轨电车车辆基地的分析，配置相对完整的钢轮钢轨的现代有轨电车，每条线路的车辆基地占地面积一般为6.0 ~ 10ha。



钢轮钢轨有轨电车 (25000m^2)　　Translohr (10000m^2)

图 5-14　胶轮导轨与钢轮钢轨车辆基地的占地面积比较

5.4　车辆基地的建设模式

（1）平面建设模式　在用地价值相对低的位置，选取专门用地，平面布置建设，如图 5-15所示。该模式建筑结构简单，组织方便，但对土地资源的占用大，适用于土地价值较低的地块。

（2）综合开发模式　借鉴轨道交通车辆基地综合开发的建设模式，车辆基地布设在地面层，上层通过结构转换与现代有轨电车车站形成一体，并进行综合开发，如图 5-16 所示。

图 5-15　车辆基地平面建设模式

图 5-16　车辆基地综合开发模式

车辆基地的综合开发能够协调交通设施与用地开发之间的关系，大大提升土地的利用价值；但综合开发需要结构转换，将增加车辆基地初期建设费用，并需要处理好噪声、消防等关系。影响现代有轨电车车辆基地规模的因素较多，要根据其在整个线网中的功能、所服务

线路的长度及车辆配给数等综合判断。同时，车辆基地的用地规模与所规划的用地形态也有很大的关系。如果地块形态不合适，占地面积的损耗率会较大。正因为以上的这些因素，造成车辆基地用地规模面积浮动范围较大，很难用一个定量指标进行衡量，每条线路都存在不同的情况，需要根据实际情况进行测算。

第 6 章

线网规划设计技术程序

根据现代有轨电车的技术特征、功能定位与规划原则，其线网规划流程及内容如图 6-1 所示。

在规划流程中，突出强调现代有轨电车是在城市总体发展和城市综合交通体系下的，其发展目标的确定和规划方案的制订均需在这种综合要素下开展。

根据这个技术流程，现代有轨电车的线网规划总体上应分为四个层次的研究工作：

（1）规划背景分析　需要对城市与交通发展现状和规划有清晰的认识，尤其是在当前多个城市公共交通发展并不理想的背景下，如何去正确认识公共交通发展存在的症结，以及针对这些症结找到相适应的方式是需要明确的内容。在这个工作背景下，作为现代有轨电车系统，对城市空间格局将产生重大的影响，这就需要分析现代有轨电车的技术特征与城市空间格局的适应性。

（2）规划目标确定　一是确定城市交通发展目标和模式。对于不同规模的城市和不同空间格局的城市，城市规模是不同的，这就首先应确定如何平衡好综合交通体系中的发展模式。当然这种模式一般是在综合交通规划层面确定，但在进行现代有轨电车线网规划时，应首先进行梳理和确认。二是确定公共交通的发展目标。尤其是在当前公交优先政策提得很高的背景下，对于部分城市，不能过分地拔高公共交通的目标，否则对城市公交的适应性将带来很大的影响。三是确定现代有轨电车在公共交通中的目标。因此，这些目标确定的基础是公共交通发展模式，而结论是现代有轨电车的功能定位及发展规模的研判。

（3）规划方案　在这个阶段，需要结合城市发展模式、城市空间结构，首先分析现代有轨电车的网络结构（尤其是在规划有轨道交通系统的城市）与轨道交通网络结构之间的关系，对于落实现代有轨电车的功能定位和目标就显得尤为重要。在线网布设的结果上，主要是要确认线路布设、换乘枢纽布设和站场布设方案，而其中以换乘枢纽布局显得比较重要，也是大家尤为需要关注的问题。

（4）建设规划　在轨道交通线网中，建设规划是在线网规划后下一层面的规划内容，更加具体，也是上报国家层面批复的技术文件和依据。但是现代有轨电车系统相对简单，同时造价也更低，且在今后的实施中，线路走向的调整性也更加灵活，单独编制建设规划不是很有必要。因此，在线网规划阶段，应落实建设规划的内容。由于现代有轨电车也多为道路红线内布设，完全有条件对近中期线路做到控制性规划的深度；同时对远期线路提出控制性的技术要求。

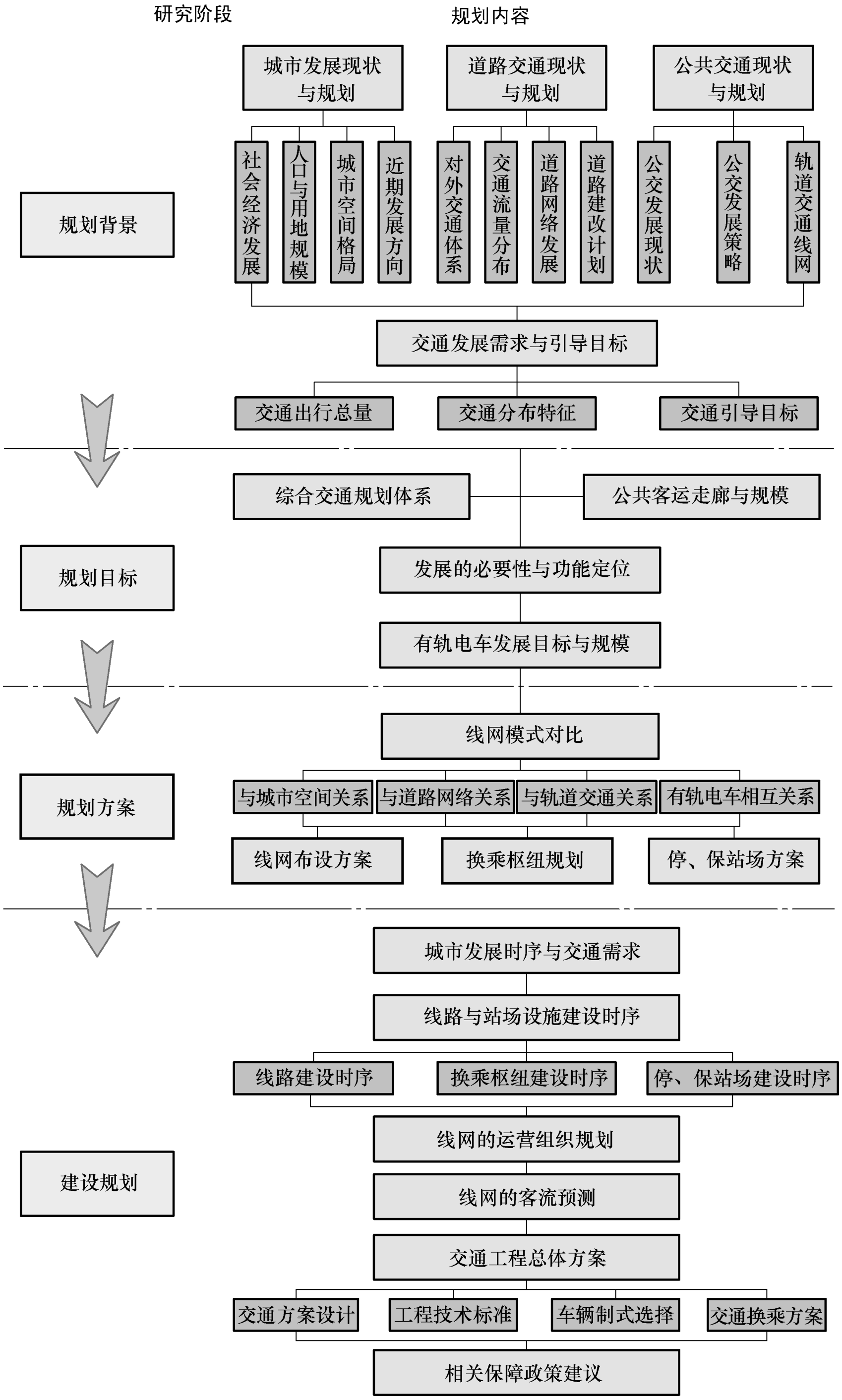


图 6-1　现代有轨电车的线网规划流程及内容

第7章 现代有轨电车规划一体化

现代有轨电车规划作为专项规划，必然服从于城市总体发展规划、城市综合交通规划等上位规划，同时要与其他的专项规划相衔接配套。因此，在进行线网规划过程中，要注重贯彻一体化交通的理念。一体化交通的关键技术包括交通系统与土地使用的一体化技术、交通方式间的一体化技术、交通枢纽的一体化技术、交通运营管理一体化技术四个主要方面。

交通系统与土地使用的一体化目标是：从城市规划这个源头解决或尽可能缓解城市交通问题，提高城市交通系统的效率，促进合理城市客运交通结构的形成；在城市交通设施承载能力范围内，节约和集约化使用城市土地，实现并提高土地作为城市活动载体的经济、社会效益；促进城市交通系统合理引导城市空间结构调整，促进城市健康、快速地发展。

交通方式间一体化的目标是：解决多种交通方式的分工与合作，避免重复投资和决策失误，实现针对不同交通需求确立不同主导交通方式的目的。尤其是在给定的交通通道中，根据通道交通需求特性和不同交通方式的技术经济特性，合理确定主导交通方式和不同交通方式之间的分工与合作，合理确定交通供给总量和供给结构。

交通枢纽一体化的目标是：解决不同交通方式的无缝衔接和零距离换乘问题。实现这一目标的关键是首先要做到物理设施一体化，同时解决票价票制、运营管理和信息服务的一体化。

交通运营管理一体化目标是：建立各种交通方式间的交通方式运营时间相互衔接、整合提供交通服务，从而减少换乘次数和换乘时间，提高交通系统的运输效益和交通服务水平。

7.1　交通系统与土地使用的一体化

城市交通供求关系是城市社会经济活动产生的交通需求和城市交通系统产生的交通供给共同作用的表现，土地使用是社会经济活动在空间上的表现，是需求；交通系统提供交通服务以满足人和物的空间移动需求，是交通供给。城市交通系统与土地使用的协调发展是解决城市交通问题、促进城市集约化可持续发展的重要途径。

土地使用是出行活动的主要决定因素。城市土地的使用形态（包括土地使用的性质和开发强度等）决定交通需求的空间分布特性、交通需求的通道出行强度特性及居民出行的距离特性；而通道交通出行强度特性和居民出行距离特性又将决定交通方式构成特性。合理的城市结构和土地使用规划将有效地减少居民出行需求总量，缩短居民出行距离，形成合理的交通需求特性，从而避免产生交通供给无法满足交通需求的结果。

交通系统支持和影响城市土地使用及其产生的相关活动。城市交通系统所具有的实际运

行水平会对城市空间结构及城市的发展规模产生影响，从而影响到城市土地使用状况，特别是城市交通的可达性对城市经济、商业和文化活动用地的空间分布具有决定作用。沿交通线发展是城市发展中的普遍现象。交通系统与土地使用之间是一种相互联系、相互影响的复杂关系。交通系统与土地使用相互协调可以相互促进发展，反之，将导致两者的相互制约，影响各自发展。

（1）交通系统与土地使用一体化的关键环节　城市土地使用与交通系统实现一体化协调发展需要多种要素的共同作用。这些要素既包括城市土地使用与城市交通系统规划及建设的理念、目标以及方法，也包括为实现城市土地使用与交通系统自身机能的有效发挥而采取的一系列政策、体制、机制及制度等。因此，研究和制订合理的城市土地使用与交通系统一体化协调发展的手段与措施，需要从城市土地使用与交通系统的规划、建设与管理、政策、体制与机制等方面一一着手，而不是仅仅关注其中的某一环节。

1）协调的城市用地规划与交通规划。

2）科学有序的城市土地开发及交通系统建设与管理。

3）严格有效的规划实施保障对策。

（2）交通系统与土地使用一体化的主要内容　城市土地使用与交通系统协调发展问题所涵盖的内容非常广泛，涉及宏观、中观及微观各个层面。不同层次的城市土地使用，对应着不同层面交通协调规划途径。宏观层次指如何在保持城市活力的基础上，构筑良好的城市空间形态结构与交通系统主骨架结构及形态之间的协调。中观层次指如何构筑城市区域土地使用性质、强度与交通系统构成及容量之间的协调。微观层次指为保证城市发展战略和发展目标的实现，如何根据具体城市地块功能特点，构筑在城市设计和交通设施设计层面上的协调。交通系统与土地使用一体化的主要内容见表 7-1。

表 7-1　交通系统与土地使用一体化的主要内容

类　型	城市组团间	交通通道	交通站点与周边土地使用
关键内容	交通系统与城市结构、城市规模的匹配	交通系统与土地使用性质、强度的匹配	综合交通枢纽建设与周边土地的一体化规划
对应关系	交通通道与城市结构	交通网络与土地使用布局	交通站点与周边用地
规划设计原则	组团规模与通道交通容量要匹配	道路的功能定位与道路两侧的用地性质和开发强度要一致，如：交通性主干道两侧不能布置大量商业，隔离设施要齐全，路边要禁止停车	在交通站点分类的基础上，合理确定不同用地的比例，规模、开发强度及空间布局，做好交通系统的无缝衔接
实现方法	量化计算组团间交通需求，根据规划的建议进行交通服务水平校验分析	定性分析判断，定量进行交通服务水平计算	建立分类设计模式指南

7.2　交通方式间的一体化

随着我国交通运输业的不断发展，交通运输业发展已经从各种运输方式各自为营、独立

发展的阶段，过渡到以枢纽设施连接和多式联运体制整合为主要特征的一体化发展阶段。城市客运交通包括市郊铁路、地铁、轻轨、新交通系统、常规公共交通系统及自行车等多种交通方式，不同的交通方式都拥有其既定的服务范围，服务于不同的需求强度和出行距离，如图 7-1 所示。交通方式间一体化的目标就是构建多方式协调利用的优质客运服务系统，引导形成合理的出行方式结构。

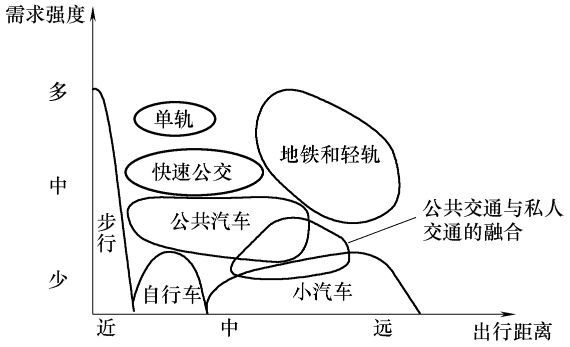


图 7-1　不同交通方式的出行距离和需求强度的关系

交通方式间一体化的主要内容见表 7-2。

表 7-2　交通方式间一体化的主要内容

尺度	宏 观 层 次	中 观 层 次	微 观 层 次
关键内容	支撑城市交通发展的方向：绿色交通为主导	支撑组团间交通需求的交通方式的合作与分工	支撑组团内交通需求的交通方式结构
对应关系	1）绿色交通为主导的导向 2）满足城市交通需求特性对交通方式结构的具体需求 3）充分体现不同交通方式的技术经济特性	组团间通道需求与交通方式结构的关系	构成组团的生态城市单元内及内外交通需求与交通方式结构的关系
规划设计原则	战略方向：绿色交通为主导	1）通道供给以公共交通为主导 2）通道供给与通道需求相互配	1）生态城市单元内以步行和自行车为主 2）组团内各功能用地单元间以公共交通为骨干
实现	1）根据城市规模、具体特点和交通需求特性，确定绿色交通为主导的具体交通方式结构 2）道路资源、交通设施向绿色交通出行者倾斜	1）根据通道需求，确定通道供给模式，即交通方式分工模式 2）在上述基础上实现通道供需平衡，即交通方式合作模式	建立生态单元规划设计指南

7.3　交通枢纽的一体化

交通枢纽一体化的实质是基于设施的交通组织和服务，把一次出行从起点到终点作为一

次服务进行统一组织，即通过设施、运营、价格和管理的良好衔接来提供“无缝隙”的出行服务。在提供的服务上，不同交通子系统都将在其适应的范围内发挥特有优势，实现资源最有效利用和交通系统整体服务水平的提高。大城市交通组织方式的转变使得交通枢纽成为城市交通出行组织的关节。随着城市的扩张和综合运输的发展，枢纽成为城市开发建设，管理、价格、服务及运营真正综合的关节，不再是不同系统中的枢纽，而是成为交通综合的抓手，成为一体化实施中实质性推进的切入点。

轨道交通枢纽具有交通节点和城市场所的双重功能（见图 7-2）。交通节点功能指枢纽的建设应当以无缝衔接、零距离换乘为当前综合交通发展追求的目标，各种交通方式应通过交通枢纽实现一体化换乘，从而最大限度地方便乘客，提高公共交通的分担率和服务水平，使综合交通枢纽成为环境温馨、方便舒适及有巨大吸引力的公共空间。城市场所功能指轨道交通枢纽可以凭借其优越的交通可达性，成为城市发展的催化剂，带动周边地区土地升值，产业集聚，诱导人口及就业在城市中的重新分布，引导城市结构的调整，构筑面向区域的、多功能、综合性的新城中心或城市副中心。良好的可达性能够吸引城市功能的集聚，适度密集的城市功能又会带来充足的客流，因此只有当节点价值和场所价值达到平衡状态时，枢纽及其周边城市开发才会实现良性互动与发展。交通枢纽的一体化开发是实现平衡状态的关键途径。

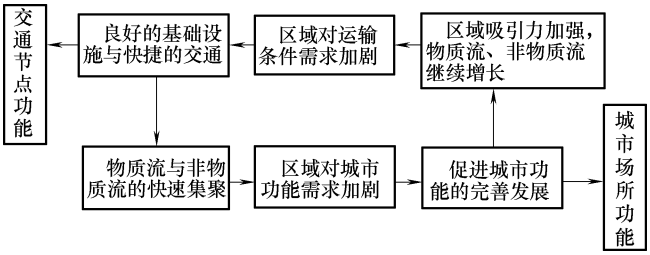


图 7-2　轨道交通枢纽的双重功能

交通枢纽的一体化主要包含土地开发一体化、交通功能一体化和建筑景观一体化三方面内容，见表 7-3。

表 7-3　交通枢纽的一体化的主要内容

类型	土地开发一体化	交通功能一体化	建筑景观一体化
关键内容	交通枢纽与周边土地一体化开发	不同交通方式的无缝衔接、零距离换乘	建筑物成为城市公共空间、城市特色
对应关系	一体化开发范围、模式、用地功能配置、开发强度	1）交通接驳的一体化 2）不同流线的合理组织（由于存在多种功能） 3）站点周边交通的配套	在满足功能基础上，让交通枢纽建筑物成为城市重要节点、城市亮点
规划设计原则	对交通枢纽站点分类，确定不同性质用地的比例、规模、开发强度及空间布局等，打造以交通枢纽站点为核心的 TOD 模式社区	根据不同类型交通枢纽车站进行交通方式接驳规划设计，强化各种交通方式无缝衔接、零距离换乘，体现在“物理空间、运营管理、信息服务、交通票制”的一体化	打造一体化的景观特色，增加交通枢纽区域的舒适性、方便性及生态性，规划设计引入地域文化与人性化设计

（续）

类型	土地开发一体化	交通功能一体化	建筑景观一体化
实现方法	建立交通枢纽站点周边及其周边用地一体化开发规划设计指南	针对接驳的一体化：需要从规划、设计、建设环节入手，实现换乘一体化	在满足功能规划设计的基础上，从时间（现状与未来）和空间（交通枢纽与周边用地）两方面实现

7.4 交通运营管理的一体化

由于每种交通方式的功能和特点不同，只有形成各种交通方式科学配置、一体化运营的交通体系，才能有效发挥各种交通方式的优势，减少换乘次数和换乘时间，优先确保广大公众的交通利益，提高运输效益；以先进的信息技术为手段，实现资源共享和统一管理，实时诱导交通流量均衡分布；在为人们提供畅达、安全、舒适和清洁的交通服务的同时，促进交通与环境协调发展。

为了更好实现交通运营管理的一体化，需从交通系统整体运输效率、平均耗能及各种运输方式、换乘方式等方面进行综合考虑。交通运营管理应从整合轨道交通与其他交通方式运营管理模式入手，建立以轨道交通为骨干，多种交通运输方式与之相搭配、快捷换乘、联合运营、统一管理的一体化交通运营系统。

在整体思路上，应提高各种公交方式与轨道交通运营的匹配程度及换乘效率，不断增强公共交通对市民的吸引力，不断完善综合运营管理机制，依托统一、协调和高效的管理，以法制和体制为保障，充分发挥政府、市场、公众的各种作用和组合优势，全面整合城市交通的规划、建设、运营、管理和服务各个环节，以期实现一体化交通系统运营管理。

从以下四个方面来实现交通运营管理的一体化：

1）运营时间一体化。

2）票价、票制一体化。

3）信息服务一体化。

4）运量配置一体化。

7.5 现代有轨电车线网规划实施关键

在具体实施层面，线网规划有效实施关键的是与其他交通方式的一体化换乘衔接（可通过换乘枢纽进行）、建设运营模式、落实规划控制。

现代有轨电车线网规划方案的最终实现，需要将现代有轨电车线网、其他轨道交通线网、对外客运枢纽和地面常规公交，乃至出租、非机动车等多种交通方式进行网络和节点层面的整合，实现换乘衔接便捷、多模式一体化的交通服务。现代有轨电车大多是其他轨道交通方式的补充，应做好与其他轨道交通方式的衔接，而常规公交线网应做好与现代有轨电车的无缝衔接。由于现代有轨电车线网大多是在原有的常规公交线网之上，为了确保现代有轨电车作为快速公交的功能实现，避免运能的浪费，需要对地面常规公交线网进行调整。调整

策略通常有：

1）缩并与现代有轨电车线路方向相同的常规公交线路，根据客流需求，缩减走廊方向的常规公交运能，确保现代有轨电车能够发挥骨干公交的功能。

2）与现代有轨电车线路方向垂直或相交的常规公交线路，尽可能提供与现代有轨电车站点的换乘衔接，通过现代有轨电车站点锚固两个网络的一体化公交服务功能。

3）延伸无法与现代有轨电车换乘的常规公交线路，适当调整首末站位置，与现代有轨电车实现换乘。

与非机动车的衔接：非机动车是一种环保、无污染的交通工具。一般来说，非机动车的服务距离为步行距离的 5 ~ 10 倍，覆盖面积为步行距离的 25 ~ 100 倍。积极引导居民采用“非机动车 + 现代有轨电车”这一出行方式，能够有效解决现代有轨电车站点到出行起终点的“最后一公里”问题，增加现代有轨电车的覆盖范围。

理顺公交发展体制：现代有轨电车建设后，将对现有的公交发展模式带来强烈的冲击，因此有必要首先理顺公交发展体制，这样才能更好地协调好现代有轨电车与其他轨道交通、常规公交之间的关系。现代有轨电车作为公共交通，是交通基础设施的一种，因此其建设、经营管理和维护应以政府为主导。根据现代有轨电车的功能定位，在现代有轨电车建设时，建议应尽快确定现代有轨电车的运营主体单位；同时运营主体应参与现代有轨电车的建设，才能有效地将建设与运营相结合，实现现代有轨电车运营效益的最大化；运营主体应建立完善的安全生产责任制度、驾驶员安全管理制度以及车辆定期保养维护制度等，落实安全生产责任制度。

落实规划控制：作为以地面铺设为主的现代有轨电车，将占用道路资源，同时为保证有轨电车的运营效率，往往采用专有路权形式。因此，现代有轨电车的道路断面形式与原规划的道路断面形式存在差异。在道路规划设计中，应结合现代有轨电车线网的规划和建设，优化道路其他部分断面形式，协调道路全线的线形和车行道。

现代有轨电车线网的规划建设将有效提升周边土地的价值。为更好地发挥现代有轨电车的效益，需要对现代有轨电车布设道路周边的用地进行梳理，结合现代有轨电车的站点规划设计，适当进行用地调整，与现代有轨电车之间形成良好的互补；同时，重新进行用地开发的经营策划。随着现代有轨电车线网的建设，将与其他轨道交通方式、常规公交等形成综合交通枢纽和换乘站点，需要开展相关枢纽规划设计的研究工作，尤其是尚未建设的枢纽，需尽早控制用地，为今后枢纽建设和整个交通系统的整合提供基础。现代有轨电车的建设，必然会涉及常规公交线路的调整，主要包括取消、缩短、延长及保留等几种调整方式。公交线路的调整是一个系统工程，不能只是简单地调整现代有轨电车线路上的公交线路，因此需要开展常规公交线网的调整方案研究。

第 2 篇

现代有轨电车可行性分析与决策

第 8 章 现代有轨电车可行性分析概论

8.1 可行性研究

项目的可行性研究是通过对项目的主要内容和配套条件，如市场需求、资源供应、建设规模、工艺路线、设备选型、环境影响、资金筹措及盈利能力等，从技术、经济及工程等方面进行调查研究和分析比较，并对项目建成以后可能取得的财务、经济效益及社会影响进行预测，从而提出该项目是否值得投资和如何进行建设的咨询意见，为项目决策提供依据的一种综合性的分析方法。

8.1.1 可行性研究的主要内容

现代有轨电车的项目可行性研究报告内容应完善、全面，符合城市轨道交通行业内的可行性研究报告编制规定等相关文件的要求。为满足现代有轨电车可行性研究的内容要求，应从以下几方面入手。

1. 项目建设的理由

应从国民经济和社会的发展与需要、国家和地方中长期规划，以及专项规划、相关政策、资源规划布局、社会与市场需求、现状及问题、所在地的内外部条件及项目本身等多方面，分析论证项目建设的背景，从而对项目建设的依据和主要理由进行分析论证。

2. 项目需求分析

通过对国家和项目所在地有关的统计资料、国家和地区的发展规划及行业发展现状与建设规划的要求、相关建设标准及规范等基础资料的研究和现场调研，论证分析并提出合理的项目需求。

3. 项目建设目标

根据项目建设的理由，对拟建项目的轮廓和预期达到的目标进行总体分析论证，明确项目的建设目标。在投资范围、发展规划、产业政策、区域布局等分析的基础上，说明项目建设要达到的预定目标，包括项目预期的生产能力或供应服务的能力；项目的功能定位，功能作用和建设目标；项目建成后应发挥的作用，解决问题和满足需求的程度等。

4. 项目主要建设内容及规模

根据项目需求分析、项目建设目标及功能定位的研究结果，依据当地发展总体规划及相应的建设标准和规范等，同时考虑项目建设所需内、外部条件的限制并适当留有发展余地，

分析提出拟建项目的初步建设方案：包括拟建项目的主要建设内容、初步功能分区及建设规模、所需外部配套设施的初步解决方案等。一般采用综合指标法或参考类似项目指标进行测算对比，说明项目建设内容及规模与相关法规、建设标准和规范的符合程度及合理性。

5. 项目建设选址（路由）和用地面积的初步研究

根据对拟建项目的功能、建设内容、规模及建设所需内、外部条件等方面的研究结果，分析确定项目建设选址（路由）和用地面积的初步解决方案。对初步选定的建设地址（路由），应根据其已取得的土地使用权证、征（用）地协议、规划部门的规划意见书或函复、国土部门预审意见或证明等文件，说明项目建设地点及四至、场址土地权属类别及用地面积、土地利用状况、取得土地方式及用地规划性质等基本情况，初步分析项目选址和用地方案的合法性、合规性，项目与各项规划的符合性及项目用地规模的合理性。

6. 项目场址（路由）选择及建设方案比选

通过项目场址（路由）选择及建设方案的比选，论证拟建项目的技术可行性。包括：在可能的情况下，一般应提出二至三个可供选择的场址（路由）进行比选。通过备选场址（路由）的条件比选分析，推荐项目选址位置。对项目建设方案，一般应提供二至三个建设方案进行比选，并推荐一个优选方案。建设方案应提供总平面布置图、功能分区说明及主要技术经济指标；主要建、构筑物特征及结构方案、基础工程方案，编制主要建、构筑物一览表；主要设备选型及清单。

7. 项目建设条件初步分析

对影响拟建项目的内、外部条件进行初步分析，包括当地社会经济状况、外部资源的配套情况（供水、排水、供电、供气、供热、通信、道路交通及建设材料供应等）、项目用地自然条件（地质、水文及气象等）及其他条件（生态、环境、社会、文保、劳动、安全、卫生、消防、能源及水资源消耗等）对拟建项目的影响和要求等，分析项目内、外部条件与项目建设需求的符合程度。

8. 项目建设进度初步安排

根据拟建项目特点，分阶段具体说明项目建设进度的初步安排。

9. 招标方案

城市轨道工程项目是关系社会公共利益的公用事业项目，当项目总投资达到招标依据中规定的标准时，其项目的勘察、设计、施工、监理，以及与工程建设有关的重要设备、材料等的采购均须采用招标方式进行。

10. 风险管理方案

报告应对影响项目的主要风险因素（包括技术风险、市场风险、组织风险、财务风险、生态及环境风险、法律风险、经济及社会风险）进行分析，提出项目建设存在的主要风险，制订风险对策，为项目的风险管理提供依据。

11. 项目运作方案

优化项目运作方案，落实组织机构、运管方案及资金来源，论证拟建项目运作方案的可行性。主要包括：确定项目建设周期及工程进度安排，编制项目实施进度表（大型项目要编制主要单项工程实施进度表）；研究组织机构设置方案并分析其适应性，包括明确人力资源的配置及要求，制订项目建设及运营的组织管理方案。对于项目建议书批复中规定的需要实行项目法人责任制的项目，明确项目法人组建方案；构造并优化融资方案。对于项目建议

书批复中规定的需要政府投资采取资本金注入方式投入的项目，明确股权结构和利益分配方案。

12. 项目总投资估算

依据相关政策文件、技术规程、规范，结合拟建项目具体情况，说明项目估算的依据、范围，以及各分项投资估算及项目分年投资计划。

13. 社会效益、经济效益和生态效益预测

对拟建项目进行社会、经济效益和生态效益的预测。主要分析拟建项目对社会的影响，包括方针政策、法律道德、经济结构、妇女儿童、宗教民族及社会稳定性等，论证拟建项目的社会效益。主要从评价项目在有效配置经济资源、实现区域经济发展目标、创造就业、增加供应、提高人民生活及改善生态环境等方面的效益，论证拟建项目的经济效益和生态环境效益。根据项目的具体情况及要求，按《建设项目经济评价方法与参数（第三版）》经济评价内容的要求对拟建项目进行经济评价工作，主要包括财务生存能力分析、经济费用效益分享及费用效果分析等。

总之，只有内容完善、符合要求的城市轨道交通工程项目可行性研究报告，才能为政府投资决策部门提供全面、客观、可靠的依据，才能最大限度地降低项目决策和实施的风险。

8.1.2 项目建设的必要性

可行性研究要对项目建设的依据和主要理由进行分析论证，这种分析论证一般应从项目本身和国民经济两个层次进行。

1. 项目层次分析

项目业主或投资人兴建现代有轨电车系统项目的理由主要有：城市化发展和优化空间结构的需要；缓解城区交通拥堵，提高居民出行质量；引导公共交通优先发展等项目建设的必要性分析。

2. 国民经济层次分析

应分析拟建项目是否符合合理配置和有效利用资源的要求；是否符合区域规划、行业发展规划、城市规划及交通路网规划的要求；是否符合国家技术政策和产业政策的要求；是否符合保护环境、可持续发展的要求等。

通过上述两个层次的分析，判别项目建设的理由是否充分、合理，以确定项目建设的必要性。

8.1.3 项目概况

对工程项目的基本情况进行介绍，如客流预测概况、建设规模及线位走向、车辆选型、行车组织与运营管理、线路方案，以及土建工程、机电工程、车辆基地、工程建设计划、投资估算与资金筹措等情况。

1）客流预测概况。依据客流预测报告简要介绍客流预测结果：客流预测的全日客流量（初期、近期、远期），日客运强度（初期、近期、远期），早晚高峰最大断面单向客流（初期、近期、远期）；各站点的集散量（初期、近期、远期）及客流时间分布。

2）建设规模及线位走向。单条现代有轨电车线路一般不超过20km，如果成网建设，规模通常会有2～3条现代有轨电车线路，依据项目情况简要介绍线位走向。

3）车辆选型。随着技术进步，100% 低地板现代有轨电车以其独特的优势成为一个新的选择，但当前价格相对较高，随着国产化率的提高，价格呈下降趋势；70% 低地板现代有轨电车技术成熟，价格较低。

4）行车组织与运营管理。简要介绍运营交路及时间、运营管理情况及组织机构。

5）线路方案。简要介绍线路的平、纵断面设计，车站的数量及分布情况。

6）土建工程。简要介绍轨道工程、路基工程、桥梁工程及车站工程等。

7）机电工程。简要介绍供电系统、接触网系统、运营控制管理系统、给水排水及消防系统等。

8）车辆基地。简要介绍车辆基地的布局、功能和任务分工，选址及总平面布置方案。

9）工程建设计划，简要介绍工程建设的总工期、施工组织与计划。

10）投资估算与资金筹措。简要介绍投资估算、总体技术经济指标及资金筹措情况。

8.2　主要设计原则与标准

现代有轨电车系统是一个较为复杂的技术系统，本章依据现有的技术水平及技术运用经验，提出主要的设计原则和技术标准，以便相关人员参考。

8.2.1　主要设计原则

1）根据工程建设计划，考虑客流预测、沿线城市发展状况和近期规划重点，从线网全局角度出发，就运营组织、工程条件和工程筹划等方面进行综合论证，提出合理、可行的方案。

2）设计年限。包括初期、近期、远期。

3）客流。按设计年限预测客流，并考虑其他交通方式的换乘客流。

4）车辆选型。根据客流、车辆来源、资源共享等因素进行综合分析，应遵循技术先进、可靠，管理维修方便的原则。

5）设计运能。按远期预测客流，满足高峰小时单向最大断面客流的需要，并有一定的运能储备。

6）行车组织。应为工程建成运营提供良好条件，设双线线路。

7）限界。根据车辆尺寸、设备安装、线路特性及施工方法等因素分析计算确定。

8）线路。应符合城市现代有轨电车的线网规划，并结合沿线具体情况进行局部选线、设站方案优化，对线路走向、车站设置及配线、线路铺设形式等进行重点研究和论证。

9）车站。体现以人为本的精神。车站规模根据预测客流、行车组织、交通功能及消防等因素确定。

10）结构。应满足施工工艺、运营、防水、环保及城市规划等要求。

11）轨道结构。应坚固稳定、结构简单、施工维修方便。

12）供电。根据路网规划和城市供电网络设计。

13）道岔信号控制系统。必须以安全、成熟、可靠、技术先进和经济合理为基本宗旨，必须满足行车安全、提高运输效率和改善服务质量的要求，同时应适合现代有轨电车的使用环境。

14）车辆基地。选址合理、布局紧凑，满足车辆停放及检修要求，综合考虑确定规模，结合路网规划实现资源共享。

15）智能交通。保证现代有轨电车运行的安全，包括交通安全、设备安全。保证系统24小时全天稳定可靠运行。注重现代有轨电车与社会交通的利益平衡与协调。

8.2.2 推荐的主要技术标准

1. 线路平面

1）线路平面圆曲线半径应根据车辆性能、道路条件、地形条件及环境要求等因素综合比选确定，符合提高列车运行速度的要求。线路平面圆曲线最小曲线半径应符合表8-1的规定。

表8-1 线路平面圆曲线最小曲线半径 （单位：m）

线 路	圆曲线最小曲线半径	
	一般地段	困难地段
正线、联络线	50	30
出入线、车场线	50	25

2）车站站台段线路宜设在直线上。当设在曲线上时，应检测车辆限界与站台的距离，并不应大于180mm，站台曲线的最小半径一般应符合表8-2的规定。

表8-2 站台曲线最小半径 （单位：m）

站 台	站台曲线最小半径
一般地段	500
困难地段	300

3）正线、联络线及车场出入线的圆曲线最小长度不宜小于15m，在困难情况下不应小于车辆两个相邻转向架间的全轴距。

4）新建线路不宜采用复曲线，在困难地段应经技术经济比较后采用。复曲线间应设置中间缓和曲线，其长度不宜小于15米，并应满足超高顺坡率不大于0.2%的要求。

5）线路平面圆曲线与直线之间应设置三次抛物型缓和曲线，曲线道岔处除外。

6）缓和曲线长度应根据曲线半径、列车通过速度及曲线超高等因素按表8-3的规定选用。

表8-3 线路缓和曲线长度 （单位：m）

曲线半径 R/m	列车通过速度 v/km·h^{-1}										
	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20
3000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2000	15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1500	20	15	15	15	—	—	—	—	—	—	—
1200	25	20	20	15	—	—	—	—	—	—	—
1000	30	25	25	20	—	—	—	—	—	—	—

（续）

曲线半径 R/m	列车通过速度 v/km · h^{-1}										
	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20
800	40	35	30	25	15	—	—	—	—	—	—
700	45	35	30	25	15	15	—	—	—	—	—
650	45	40	35	30	20	15	—	—	—	—	—
600	50	45	35	30	20	15	—	—	—	—	—
550	55	45	40	35	20	15	15	—	—	—	—
500	60	50	45	35	20	15	15	—	—	—	—
450	60	55	50	40	25	20	15	—	—	—	—
400	60	60	55	45	25	20	20	15	—	—	—
350	60	60	60	50	30	20	20	15	—	—	—
300	60	60	60	60	35	25	25	20	15	—	—
250	—	60	60	60	40	30	30	20	15	—	—
200	—	—	—	60	40	40	35	25	20	15	—
150	—	—	—	—	40	40	40	35	25	20	—
100	—	—	—	—	—	—	40	40	35	25	20
50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40	35

7）缓和曲线长度范围内应完成直线至圆曲线的曲率变化、轨距加宽过渡和超高递变。

8）当圆曲线较短、计算超高值较小时，可不设缓和曲线，但曲线超高应在圆曲线外的直线段内递变。

9）位于平交口的圆曲线，其超高值应根据道路竖向设计、行车运营速度等因素综合确定。困难情况下可不设超高，但应确定速度限制值。

10）道岔应靠近站台设置，但道岔岔心至有效站台端部不宜小于 15m。

2. 线路纵断面

1）地面线路纵断面应结合城市道路现状及规划设计。当为现状道路时，宜首先根据道路现状进行拟合，设计为长大坡度。

2）地面线路轨面高程应结合城市道路排水系统，根据道路条件、排水方向及雨水口方位等因素进行设计，必要时可改造城市排水系统。地面线路的防淹、防洪标准应与所沿道路一致。

3）对地面线路，在平交道口和混行地段，轨面应与道路面齐平。在绿化地段，应根据景观绿化和排水要求设置轨面与路面的高差，轨面高程不宜低于路面。

4）对既有桥梁区段，纵断面设计应结合桥梁结构型式、轨道结构高度统筹考虑，使轨道平顺、行车舒适和景观协调。

5）地面线路在路口道岔区的纵断面设计应满足道岔铺设条件，结合路口竖向设计，减少对既有道路的改造。

6）线路正线最大坡度不宜大于 50‰，困难条件下可采用 60‰，均不计平面曲线对坡度折减值。

7）地面线路最小坡度的设置应因地制宜，在满足轨道平顺性的前提下，应与道路纵断

面相匹配，并满足排水要求。

8）地面车站宜与道路坡度相协调，并满足车辆的爬坡能力和停车限制坡度。高架车站宜设在坡度不大于2‰的坡道上。

9）当两相邻坡段的坡度代数差等于或大于2‰时，应设竖曲线连接。竖曲线的半径宜根据车辆运行速度和乘客舒适度参照表8-4。

表8-4　竖曲线的半径　（单位：m）

线　路		竖曲线半径	
		一般情况	困难情况
正线	区间	2500	1000
	车站端部	2000	1000
联络线、出入线		1000	

10）道岔范围内不得设置竖曲线，竖曲线离开道岔端部的距离不应小于5m。

11）线路最小坡段长度不宜小于远期列车计算长度。

12）相邻竖曲线间的夹直线长度不宜小于15m。

3. 轨道

1）基本要求。轨道结构应有足够强度、良好的稳定性、耐久性、绝缘性和适量弹性；轨道结构应质量均衡、弹性连续、强度均等、匹配合理、施工简便和维修便捷；轨道设备应安全、可靠、维修量小，并宜标准化、系列化、通用化；轨道养护、维修用房及检测和维护设备、备品备件应根据线网规划及工程运营维修需要配备。

2）轨道技术标准。采用1435mm标准轨距，根据车辆走行部位参数和通过要求确定加宽量，一般情况不加宽；轨顶（底）坡度为1∶40；曲线最大超高采用120mm，共享路权地段曲线宜结合路面坡度合理设置超高，未被平衡超高允许值一般为75m、困难情况下为90mm，过超高不应大于50mm；扣件间距，正线及配线、试车线为1520～1680对/km，车场线为1440对/km。轨道结构高度一般不小于500mm，绿化地段需结合绿化要求进行道床形式设计；正线、车场试车线宜根据无缝线路计算结果，确定无缝线路设计。

3）钢轨。现代有轨电车可采用槽型轨或工字型钢轨，采用工字型钢轨时，正线宜采用60kg/m钢轨，车场线宜采用50kg/m钢轨；地面线、高架线共享路权地段宜采用槽型轨。

4）扣件。扣件应具有免维修或少维修的特点，结构简单、弹性适宜，具有一定的轨距及高低调整量，以及具有良好的绝缘和防腐性能；扣件绝缘电阻不应小于5kΩ；对无砟轨道，当有绿化或硬化要求时，扣件应采取防护措施；对高架线，根据无缝线路设计要求采用小阻力扣件。

5）道床。地下线、高架线宜采用无砟轨道；地面线根据工程特点可采用无砟或有砟轨道，地面线宜采用有砟轨道，其中共享路权地段应采用埋置式无砟轨道；正线同一曲线范围内宜采用同一种轨道形式。有砟道床的最小厚度应符合表8-5的规定。

有砟轨道的道床材料、砟间宽度及堆高、道床边坡、轨枕与道床面距离应满足GB 50157—2013《地铁设计规范》的要求；无砟轨道结构及混凝土轨枕的设计使用年限宜与轨下主体结构一致，并不得少于50a，材料应符合GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》的规定；对共享路权地段，轨道结构之上的道路结构与钢轨相接处应采取密封措施，下部应采

取过渡措施，钢轨两侧一定范围内宜采取加强措施，防止损坏路面；当轨道因绿化或混行要求需要埋置时，钢轨、扣件应采取绝缘、防腐措施。

表 8-5　有砟道床的最小厚度

<table>
<tr><th>轨道下部基础类型</th><th colspan="2">正　　线</th><th>配线、车场线</th></tr>
<tr><td rowspan="2">非渗水土路基</td><td rowspan="2">双层</td><td>道砟：200mm</td><td rowspan="3">单层道砟：250mm</td></tr>
<tr><td>底砟：150mm</td></tr>
<tr><td>岩石、渗水土路基、混凝土结构</td><td colspan="2">单层道砟：250mm</td></tr>
</table>

6）道岔。正线及配线道岔号数不宜小于 6 号，车场线道岔号数不宜小于 3 号；在路口线路分叉处宜采用曲线道岔连接，曲线半径的大小应根据路口、车辆等情况确定；高架线无缝线路根据计算布置伸缩调节器。

7）减振。减振轨道的结构应按项目环境影响评估报告书确定减振地段位置及减振等级，减振工程措施应根据项目环评报告和减振产品性能确定；当采取减振工程措施时，不应削弱轨道结构强度、稳定性及平顺性；同一工程的减振措施不宜多于三种，每一减振措施长度不宜小于远期一列车的长度。

8）附属设备。对高架线、独立路权铺设工字型钢轨的地段，应按 GB 50157—2013《地铁设计规范》的要求设置防脱轨措施；线路末端应设车挡，正线、配线及试车线的终端车挡的额定撞击速度不应小于 5km/h，车场线（不含试车线）终端车挡的额定撞击速度不应小于 3km/h，并满足车辆、信号等要求；结合运营需求，宜设置必要的线路及信号标志。

9）养护维修。工务部门应结合其维修模式，对轨道线路设备制订专门的线路维修规程；保持线路设备完整和质量均衡，尽量延长线路设备使用寿命；根据线路设备损耗规律，有计划、按周期地对线路设备进行更新和修理，恢复和提高线路设备强度，增强轨道承载能力。

4. 行车组织

1）车辆编组及定员（见图 8-1）。初、近、远期可采用 6 人/m^2站立标准。车辆编组灵活。

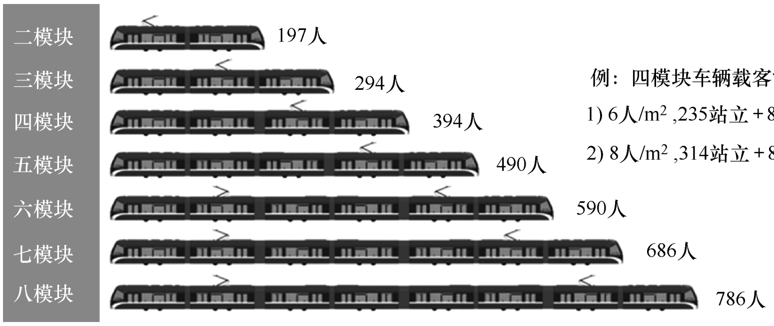


图 8-1　车辆编组及定员示意图

2）一般要求。行车时间以北京时间为准，行车日期划分以零时为界；行车组织应实行集中管理、逐级负责的制度；现代有轨电车行车指挥应坚持现场由驾驶员目视驾驶为主、整体由调度统一指挥的原则；运营单位应制定正常情况、非正常情况、应急情况下的行车组织

方案；行车组织按双线单向组织运行；双线集中的运营线路一般按左侧信号显示行车，除现代有轨电车专属信号外，还应按地面交通信号行驶；行车用语要求规范，联控用语要求实行复诵制度；运营时间内的施工抢修作业，应以先通后复为原则；运营线路并网后的共线段需提高运营效率，保障线路畅通；运营车辆应根据交通法规、路权及运营环境等实际情况制定相应的限速要求；车场行车应制定调车、洗车、调试等相关的作业办法。

3）指挥层级。运营单位应根据线网规模设置运营控制中心作为最高指挥中心；行车组织可分为多个指挥层级，坚持低级服从高级的指挥原则；各级调度员需服从运营控制中心值班主任指挥；非行车指挥人员禁止下达任何行车调度命令。

4）应急管理。运营单位应建立专、兼职应急抢险队伍，配备应急所需专业器材、设备并进行日常维护；运营单位应编制针对性及操作性较强的突发事件应急预案，并定期进行演练；运营单位应与外协单位建立有效、可靠的沟通机制；应急预案应坚持统一指挥、逐级负责、快速反应、协同配合的原则；运营单位宜建立统一的应急指挥中心，承担各类突发事件的指挥、协调、处置工作，或者授权运营控制中心承担应急指挥工作。

5. 车辆

现代有轨电车的车辆类型及编组应根据当地的客流预测、环境条件、线路条件及运输能力要求等因素综合比较选定。车辆基本形式为钢轮钢轨、多模块铰接型低地板车辆。车辆牵引控制系统可分为鼠笼异步电机或永磁同步电机。车体材料可采用不锈钢或铝合金车体。受电方式可选用架空接触网方式、地面供电方式、储能供电方式。按最高速度可分为 70km/h、100km/h 系列车型。车辆最大紧急制动减速度不小于 2.5m/s^2。车辆的主要技术参数见表 8-6。

表 8-6　车辆的主要技术参数

项　目		70%低地板	100%低地板
车辆基本长度/mm		≤30000	≤36000
车辆宽度/mm		2650（或 2400）	2650（或 2400）
车辆高度/mm		≤3700	≤3650
车内客室通道净高/mm		高地板区≥2000	≥2100
客室通道底板面高度/mm		低地板区≤380	≤350
客室侧门口宽度/mm	双开门	1300	1300
	单开门		800
客室侧门口高度/mm		≥1850	≥1850
转向架固定轴距/mm	轮对式	≤1900	≤1800
	独立车轮式	≤1850	
车钩高度/mm		≤660	≤660
受电弓工作高度/mm		3900～5600	3900～5600
轴重/t		≤12	≤12.5

注：1. 独立车轮轴距为同一转向架两端的两同心独立车轮所形成的同心轴之间的距离。
2. 车辆宽度不包含后视摄像头或后视镜。
3. 车辆高度为包含储能装置（如设置）的高度。
4. 车辆基本长度为车辆定员在 300 人左右的基本长度，如加长或缩短车辆应按与之匹配的模块进行组合，其最大组合长度应符合道路交通的规定。

6. 路基

1）路基主体工程应以地质、水文勘察资料为依据，按土木结构物进行设计，应具有足够的强度、稳定性和耐久性，并应满足防洪、排涝及防排地下水要求。

2）路基工后沉降。应结合工程要求和条件确定合理的路基工后沉降标准，并采用具有相应差异沉降协调调整性能的轨道结构；区间正线有砟轨道路基工后沉降应满足轨道要求，一般应不大于 200mm，路桥过渡段不应大于 100mm，沉降速率均不应大于 50mm/a；区间正线无砟轨道路基工后沉降量应满足轨道要求，一般应不大于 30mm，当均匀沉降且调整轨面高程后的竖曲线半径满足舒适度要求时，工后沉降可为 50mm。路桥或路隧交界处的差异沉降不应大于 10mm，过渡段沉降造成的路基与桥、隧的折角不应大于 1.6‰。轨道铺设前，应对路基变形进行观测、评估。不良地质、软土地基地段的无砟轨道路基工后沉降值应控制在允许范围内。

3）路基结构。无砟轨道路基基床结构分为基床表层、基床底层。根据上部轨道结构要求，基床表层以上可设置无砟轨道支承层、垫层，无砟轨道支承层的钢筋混凝土板应满足耐久性设计的要求，无砟轨道支承层、垫层应与轨道道床分块长度相匹配；基床表层宜采用半刚性二灰砂砾或水泥稳定级配碎石；基床底层宜采用 A、B 组填料或级配碎石（砂砾石）填筑；基床厚度应符合现行国家标准《地铁设计规范》GB50157 的有关规定，特别条件下基床厚度应根据荷载、基床不同材料参数，按照布式理论等计算确定。对现代有轨电车，当基床表层采用无机混合料、级配碎石时，基床表层厚度不小于 0.4m；当基床底层采用 A、B 组填料时，厚度不小于 0.7m。

4）压实标准。无砟轨道基床表层压实标准应符合表 8-7 的规定。

表 8-7　无砟轨道基床表层压实标准

层　面	压实指标	填料类别	
		二灰砂砾	水泥稳定级配碎石
基床表层	地基系数 K_{30}/(MPa/m)	≥180	≥190
	压实系数 K	≥0.98	≥0.97
	无侧限抗压强度 R_{28}/MPa	≥2.0	≥3.5

无砟轨道基床底层压实标准应符合表 8-8 的规定。

表 8-8　无砟轨道基床底层压实标准

层　面	压实指标	填料类别	
		砂类土及细砾土	碎石类及粗砾土
基床底层	地基系数 K_{30}/(MPa/m)	≥130	≥150
	压实系数 K	≥0.95	≥0.95
	相对密度	0.8	—
	孔隙率	—	≤24
	动态变形模量 E_{VD}/MPa	≥40	≥40

无砟轨道路基基床以下部位压实标准应符合表 8-9 的规定。

表 8-9 无砟轨道基床以下部位填料的压实标准

压实指标	填料类别	
	砂类土及细砾土	碎石类及粗砾土
地基系数 K_{30}/(MPa/m)	≥110	≥130
压实系数 K	≥0.92	≥0.92
相对密度	≥0.75	—
孔隙率	—	≤28

5）路基排水。共享路权区段的轨道路基排水系统应与道路排水一体化设置；独立路权地段在用地界范围内可设置独立的轨道路基排水系统，并接入沿线市政排水系统。独立路权地段及共享路权地段的路基排水管渠排水设计重现期不宜小于 5a，重点积水地段、下穿立交等的排水设计重现期应不小于 10a。

7. 车站设施

1）地面车站主要由站台、站亭和设施三部分组成。设施一般包括坡道、座椅、栏杆扶手、安全挡台、导向牌及垃圾桶等，采用立交进出站时，还应包括楼梯、自动扶梯和无障碍电梯等。

2）乘客使用的人行楼梯宜采用26°34′倾角；楼梯宽度，单向通行不应小于 1.5m，双向通行不应小于 2.2m。每个梯段不应超过 18 级，且不应少于 3 级。休息平台长度宜为 1.2～1.8m。

3）车站设置的自动扶梯倾角应采用 30°，当自动扶梯穿越楼层、扶手带中心至开孔边缘的净距小于 400mm 时，应设防撞安全标志。自动扶梯的踏步面至顶部洞口处的建筑物地面垂直净空高度不应小于 2300mm。

4）设置在站台边缘的栏杆或栏板，其顶面与站台面的高度应大于 1.2m。

5）设置在道路中央的地面车站，站台和机动车道之间应设置有效的防撞设施台，防撞设施台的材料应满足一定的强度要求，高度不应小于 300mm。

6）地面车站站台边缘的安全线宜结合无障碍盲道统一设计。

8. 供电

1）供电系统应安全、可靠、节能、环保和经济适用。在设计规定的各种运行方式下，供电电压应满足低压用电设备的正常运行。

2）接触网形式应根据城市发展定位、车辆受电和景观等方面的要求综合确定，平交路口宜采用“无架空网”化供电方式。接触网形式可分为架空接触网和接触轨。接触轨包括轨旁式接触轨和嵌地式接触轨，嵌地式接触轨应选用有成熟运营经验的产品。

3）当现代有轨电车采用车载电源作为动力时，充电桩的设置应根据车辆专业的要求确定，并应符合景观的要求。

4）现代有轨电车牵引用电负荷不低于二级负荷。

5）现代有轨电车外部电源宜采用分散式方案，直接引自城市电网变电所。

6）现代有轨电车宜构建全线中压供电网络，中压网络电压等级可采用 10kV。中压供电网络应满足现代有轨电车牵引负荷等级的供电要求，并应满足远期运力的供电要求。中压供电网络一次接线与继电保护配置应协调配合。

7）牵引变电所可按线路铺设情况设于地面、半地下和高架桥下，并应与城市规划协

调。牵引变电所的分布应满足远期高峰运营的需要。一座牵引变电所退出时，可采用纵联、横联大双边供电或末端单边供电，保证现代有轨电车运力；当技术经济合理时，可采用车场牵引变电所对正线支援供电。

8）公共连接点处的供电电压应符合 GB/T 12325—2008《电能质量 供电电压偏差》的有关规定。牵引网系统的标称电压应为直流 750V，系统电压变化范围应满足 CJ/T 1—1999《城市无轨电车和有轨电车供电系统》的规定。当现代有轨电车采用车载电源作为动力时，充电电压的选择应按照车辆要求确定。

9）供电系统应设置电力监控系统并应满足变电所无人值班的运行要求。

10）现代有轨电车兼做回流电路的走行轨与大地之间的过渡电阻值应大于 2Ω · km，走行轨与大地之间应采取特殊绝缘措施。走行轨上任意两点间的平均电压降不得大于 2. 5V。任何一段走行轨上的平均电压降，每 100m 不得大于 0. 35V。

11）接地装置应利用结构主体钢筋等自然接地极。当接地电阻不满足要求时，可补充人工接地极。自然接地极和人工接地极不应少于两点连接，并能分别测量其电阻值。

9. 运营控制管理系统

运营控制管理系统由综合运营调度系统、综合通信系统、正线道岔控制系统、路口现代有轨电车检测系统、车场联锁系统及售检票系统等核心系统组成，如有需要可设置安防系统（含门禁）和信息化系统。

运营控制管理系统应采用计算机网络技术、数字通信技术，实现智能化和集成化管理，本着“技术成熟、功能适用、全网兼容、互联互通”的原则，在降低工程造价的同时，提高系统性价比。

1）综合运营调度系统应能实现对现代有轨电车的运输组织、运行监控、车辆运用、供电监控、环境监控和维修管理等“人-车-路-站-段”一体化、综合化和集成化管理。对日常行车宜采用只监不控的方式。

2）综合通信系统可由数据承载网系统、无线通信系统、电话系统、视频监控系统、乘客信息系统及广播系统组成。

① 数据承载网系统应建立统一的数据业务平台，为运营控制系统中的各子系统提供可靠的、冗余的、可重构的及灵活的传输通道，是整个现代有轨电车系统中的车站、道岔区、路口、变电所、车场及调度中心之间信息交换的平台。

② 无线通信系统主要提供车、地间的数据通信，全网无线通信系统应具有兼容性，满足互联互通要求。

③ 现代有轨电车应设置电话系统，实现现代有轨电车的调度指挥、运营管理和办公公务功能，包括专用电话、公务电话和无线调度系统。

④ 车站宜设置视频监控和乘客信息、系统，可设置广播系统和客服电话设备。路口可设置视频监控设备。视频监控系统设置范围宜包括车站、路口及变电所等处。视频监视系统应具有录像的功能，存储时间不少于 15 天。

3）正线道岔控制系统宜采用分散控制方式，在有站房等条件下可采用集中控制。

4）在需要进行交通信号优先通行控制的路口，应设置路口现代有轨电车检测系统，向市政路口信号控制系统提供现代有轨电车接近和离去信息。路口应设置现代有轨电车专用信号灯，路口信号控制系统宜纳入市政交通体系。

5）车场联锁系统宜采用联锁集中控制的计算机联锁系统，安全完整性等级达到 SIL4 要求。能对场内的调车作业进行集中控制，实现进路上的道岔、信号和轨道区段的联锁功能。

6）售检票系统应纳入城市一卡通，根据客流、车站形式等可采用站台售票或车上售票等方式。

7）可根据需要设置安防系统，范围包括车辆段、停车场及其他关键场所。

8）系统设备应满足城市自然环境条件、车站环境条件抗电磁干扰的要求。

第9章 现代有轨电车运营及线路方案

9.1 客流量预测

客流预测是现代有轨电车系统项目投资决策分析的基础，它是在调查取得一定的资料（文本资料和现场资料）基础上，运用已有的知识、经验和科学方法，对未来的客流量进行的预测和分析。

9.1.1 预测范围和依据

建成年为基准年，客流预测年限分为初期（基准年后3年）、近期（基准年后10年）和远期（基准年后20年），依据为建设现代有轨电车的城市的交通基础数据。

9.1.2 客流预测原理及方法

1. 客流影响因素与成长规律分析

（1）轨道交通客流的形成　城市轨道交通客流主要包括转移客流量和诱增客流量。转移客流量指由于轨道交通所具有的快速、准时、安全及方便等优点，而从其他交通方式转移过来的客流量。转移客流量中最大的可能来源是那部分本来选择常规公交或自行车出行的居民；相对于小汽车的出行而言，轨道交通的出行成本较低，且随着出行距离增大，这种优势表现得尤为明显，因此还有一部分客流量会从小汽车方式转移过来。诱增客流量则主要指轨道交通线路的建设促进沿线土地的开发、人口的集聚，使区域之间的可达性提高、服务水平提高及居民的出行强度增加等而诱增的客流量，最直接的体现是居民可能会选择“住在郊区，工作休闲在市中心”的生活方式。

城市客流主要取决于城市土地利用的空间布局和城市经济的发展水平，在供给能力满足的条件下，当一个城市的土地利用布局规划确定以后，从某种意义上讲，城市客流的产生和分布就客观存在了，当然，我们不能否认交通政策在其中的作用。同时，由于轨道交通作为一种大运量、快速的城市客运交通工具，它的存在直接地改变了轨道线路沿线区域的可达性，大大地缩小了出行者的出行时间，因此居民也愿意居住在轨道线路经过的区域，从而导致该区域房价会上扬。但是，这种影响是相互的，反过来，轨道交通对城市的土地利用空间布局产生一定的影响，如加快城市郊区化进程和提高轨道线路沿线土地的开发强度等，从而影响轨道交通客流的产生与分布。

（2）轨道交通客流规模影响因素分析

1）沿线用地开发。城市各种经济活动在城市空间上所表现的土地利用是产生交通流的“源泉”，人们常常把交通当作“流”，把土地利用当作“源”。交通系统和土地利用实质上就是“流”和“源”，无源之流和无本之木都是不存在，因此轨道沿线土地利用及站点周边覆盖的人口和岗位对轨道交通客流量有着举足轻重的影响。在香港，大约 50% 的居民和 55% 的职业岗位集中在离轨道交通车站 10min 的步行距离之内，其轨道交通成功的一个最重要原因就在于此。

2）交通衔接。轨道交通作为一种定线的运输工具，其直接影响范围是十分有限的，通常只能覆盖其线路两侧一定范围内的交通走廊。要发挥出轨道交通大运量的优势，保证轨道交通的客流效益，形成与个体交通方式相抗衡的力量，必须依靠自行车、摩托车、地面公交等其他交通方式的接运，使其服务范围间接地延伸到城市的各个角落，进而实现人流在城市空间内快速、安全、舒适有序的移动。

根据对上海市地铁三条线路 15 个典型站点的客流调查结果表明，不同类型的站点其步行到站比例都比较大，为 30%～57%，其中成熟居住区的步行到站比例最大，为 57%；其次为公共中心区，为 48%。地铁站点的公交到站比例也比较大，为 30%～40%，其中城市外围区站点公交到站比例甚至比步行比例高 10%，并且这类站点的自行车、出租车和私家车的换乘比例明显高于其他类型的站点。各类站点中，自行车、出租车和私家车到站比例都比较小，主要是由于长期不重视与这几类交通方式的换乘及地铁站点周边停车设施严重不足造成的。

3）轨道交通服务水平

① 轨道交通网络化。一条新的轨道交通线路的投入运营，与原有轨道交通线路之间构成了换乘关系，形成网络效应，会使原有线路客流迅速增长，并且使得新线路的客流起点比较高。例如，广州地铁 1 号线于 1999 年 6 月 28 日正式投入运营，客流增长一直比较缓慢，2002 年地铁旅客运输量仅达到 6629.13 万人次，比 2001 年增长 4.2%。2003 年 6 月 28 日，地铁 2 号线三元里到琶洲塔开通运营，当年的旅客运输量就突破了 1 亿人次，比上年增长 7%，2004 年又增长 41.4%，达到了 1.64 亿人次。

② 运营服务水平。轨道交通的运营服务水平也是影响客流规模的一个重要因素。轨道交通的服务水平主要包括运行间隔和旅行速度。运行间隔与乘客的候车时间有关，而旅行速度影响乘客的在车时间，因此运行间隔越短、旅行速度越快，越有利减少人们的出行时耗，对客流的吸引力越大。轨道交通的服务水平对运营初期影响最为明显，运营初期，由于整个运输系统的功能还不稳定，因此在一个相当长的时间内，对系统的运输能力产生不利的影响，使得系统初期的服务水平降低而影响客流。

4）票价政策变化对客流的影响。在目前国内城市居民收入水平总体不高的情况下，轨道交通的客流量与票价的高低存在很大的关联关系。事实上，从国内建成轨道交通线路的运营状况来看，轨道交通客流量对票价十分敏感。

（3）轨道交通单线客流成长规律分析

1）初期有一个客流培育的过程，增长较缓慢。轨道交通客流在初期有个缓慢的培育过程。在轨道交通运营初期，对于经过市中心区的车站，其周围的人口、就业岗位变化比郊区慢得多，平行于轨道交通线路的公交线路尚未及时调整及人们的出行习惯等因素都使得轨道交通线路在运营开始的 3～5 年中增长很慢。而第一条轨道交通线的客流培育期则更长，大

约需要 5～7 年。上海地铁 1 号线的客流培育期为 7 年，其中 1993—1995 年为试运营，1995—2000 年为正式运营，在 1993—2000 年的 7 年中，客流年均增长率为 5.3%。广州地铁 1 号线在运营的前 4～5 年客流量增长很慢，甚至还会上下波动，平均增长率仅为 3.7%。

2）在经历培育期之后，轨道交通客流量会加速增长。上海地铁 1 号线在开通 7 年后开始加速增长，2000—2005 年间，上海地铁 1 号线客流年均增长率达到 23.7%；广州地铁 1 号线在正式运营 4 年后开始加速增长，2003—2006 年的客流年增长率达到 20%～25%；东京早期建设的地铁线路在开通运营之后的 30 年左右时间内，日均客流均呈现总体上升趋势，而且开通以后的最初 10 年左右时间内上升幅度最大。

之所以会产生客流加速增长，是由于人们收入水平提高、城市人口增长加快、道路交通拥挤、居民出行习惯改变及轨道交通网络效应等因素的共同作用所致。

3）轨道交通网络化效应明显。一条新的轨道交通线路的投入运营，与原有轨道交通线路之间构成了换乘关系，形成网络效应，会使原有线路客流迅速增长，并且使得新线路的客流起点比较高。

从 2005 年、2006 年的实际运营客流样本看，上海地铁 1 号线的本线客流只有 50 万～60 万人/d，由其他线路运营而增加的客流量约 30 万人/d，占地铁 1 号线全部客流的 1/3；广州地铁 1 号线在地铁 2 号线开通的后一个月，客流量由 6 月的 16 万人/d 增长到 7 月的 24 万人/d，增长了约 1/3。

（4）轨道交通全网客流成长规律分析

1）轨道交通日客运量呈稳定增长趋势。轨道交通客运量规模发生了巨大变化，从 1995—2009 年上海的轨道线网长度增长不足 10 倍，而交通日均客运量增长了近 20 倍，轨道交通日客运量呈现整体上升趋势，广州也如此。从上海和广州的数据来看，虽然受票价调整等因素的影响，各城市线网客流强度出现过短暂的波动，但随着轨道交通沿线区域土地开发利用的逐步实施，换乘客流的形成，全网客流强度仍然保持着强劲的增长趋势。

2）现阶段票价调整对客流影响显著。从北京、上海、广州、武汉等多个城市的票价调整来看，现阶段票价的调整对客流有明显的影响。票价调整对短距离客流影响尤为明显，通过合理的票价方案，可促使常规公交与轨道的出行距离分布比例逐步趋于合理。

（5）轨道交通客流特征分析

1）断面客流分布特征。在轨道交通线路上，由于线路行经区域的用地开发性质不同，所覆盖的客流集散点的规模和数量不同，因而出现线路各个车站乘降人数不同、线路各个断面的客流存在不均衡现象是不可避免的。

2）高峰小时系数与三高断面。

① 高峰小时系数。轨道交通客流在全天不同时间上的分布是不同的，高峰小时系数为高峰时段客流量与全天客流量的比值。根据客流量的取值不同（可取全线客运量、各断面客流量、各车站乘降客流量），高峰小时系数含义也分别不同。

a. 轨道交通小时客流量在一天内呈驼峰形分布，有两个高峰期，即早高峰和晚高峰。其他时间段则是客流平峰期，9：00—17：00 时段的小时客流系数仅为 5% 左右。

b. 轨道交通高峰小时系数普遍比常规公交高峰小时系数要大。

c. 客运量高峰系数基本呈下降趋势。

d. 客运量早、晚高峰系数的差异在逐步减小。

e. 断面客流高峰系数值明显大于运量高峰系数值。

② 三高断面分布。对于轨道交通而言．客流预测中高峰小时单向最大断面客流量是一个至关重要的决策依据。高峰小时单向最大断面指在高峰小时断面客流分布中，线路某一个方向（上行或下行）上的断面客流量最大的那个区间，简称为“三高”断面。

3）平均运距。线路的平均运距即为该线路乘客的平均乘行距离。平均运距是轨道交通线路运营的一个重要指标，既可以反映轨道交通线路乘客空间分布情况，也一定程度上反映了客流在各断面上的聚集程度。对于一条轨道交通线路而言，平均运距不能太长，也不能太短。平均运距太长表明该线路在规划时线路长度可能过短，而平均运距过短则表明该线路走向不够理想或长度过长，两者均需要对线路进行优化。

4）换乘客流。

① 全网换乘客流。随着网络规模的扩大以及轨道交通网络从市区向郊区的延伸，换乘客流大幅增加，基本上占全网客运量的30%~40%。

② 单线换乘客流。

a. 郊区线的换乘比例大于市区线。轨道网从市区向郊区延伸过程中，全网换乘量和换乘系数均会增加，由于郊区线需依托市区线发展客流，换乘率一般都比较高。

b. 环线的换乘比例明显较高。环线与网络中大多数线路都有换乘站，线路上换乘站较多，换乘关系复杂，因此环线上的换乘比例明显较高。

2. 客流预测的基本方法——四阶段法

四阶段法形成于20世纪70年代的欧美发达国家，并随着各个阶段模型研究的深入不断完善，现已经成为交通需求预测的主要方法。四阶段模型包括交通的发生与吸引、交通的分布、交通方式划分及交通流分配四个子模型。

（1）交通的发生与吸引　四阶段法的第一个阶段为交通发生与吸引，这个阶段的目标是预测研究对象地区总的交通量，并求出研究对象地区中的各个交通小区的交通发生和吸引量。先求出研究对象地区的交通需求总量预测值，即交通生成量，再在交通生成总量的约束下，求出各个交通小区的发生交通量和吸引交通量。

影响交通发生与吸引量的因素主要有以下几种。

1）土地使用。交通系统与土地使用情况有着密切联系，地区的土地使用情况是影响交通量发生和吸引的主要因素之一。城市区域的土地使用大致可以分为以下10大类，分别为居住用地、公共设施用地、工业用地、仓储用地、对外交通用地、道路广场用地、市政公共设施用地、绿地、特殊用地、水域及其他用地。

2）家庭规模和成员的构成。家庭规模的大小影响家庭出行，人均出行次数与家庭规模的大小成反比例；由于出行目的不同，因此影响家庭出行的主要因素就是家庭成员的构成，如小孩上学、成年人上班、老年人基本不出行等。

3）居民年龄、性别。根据数据统计显示，受体力、工作性质等影响，男性平均出行次数较多的年龄段为20~45岁，女性平均出行次数较多的年龄段为20~40岁。在出行的发生和吸引交通量的预测中，对居民不同性别和年龄、居民的平均出行次数的调查和评价是重要的基础数据。

4）汽车保有率。汽车保有率与人均出行数成正比例关系，主要原因：购买车辆的人出行需求较高；购买车辆以后更容易诱发出行。

5）自由时间。自由时间是从一天的24h中除去约束时间的剩余时间。

6）居民职业和工种。居民职业和工种的不同是造成出行量不同的主要原因之一，如汽车驾驶员、推销员及采购员等。

7）企业规模和性质。一般来说，企业越大，业务处理量就越大，外出率就越高。外出率是工作中外出业务占总业务的比例，它因工种、年龄的不同而异。

8）家庭收入。家庭收入也是影响出行，尤其是自由出行的主要原因之一。高收入家庭，汽车购买率高，购物、娱乐等需求也高，平均出行次数就多。

9）其他。天气、工作日和季节等不同也影响人们的出行。

交通发生与吸引预测的基本方法有原单位法、增长率法、聚类分析法、函数法、趋势法和回归分析法等，以下介绍前三种方法。

1）原单位法。根据人口属性以不同出行目的的单位出行次数作为原单位，对总交通发生量进行预测。

2）增长率法。增长率法是在原单位法的基础上，考虑原单位随时间变动的情况，在原单位法中加入了交通量增长参数模型。

3）聚类分析法（又称交叉分类方法）。聚类分析法是出行生成预测的另一个可选用的模型，英国人称其为类型（别）分析，美国人则称其为交叉分类方法。它突出以家庭作为基本单元，用将来的出行发生率求得将来的出行量。它与原单位法有很多相似之处，但又存在很大不同。

① 聚类分析法必须服从的假定：

a. 一定时间内出行率是稳定的。

b. 家庭规模的变化很小。

c. 收入与车辆拥有量总是增长的。

d. 每种类型内的家庭数量可用相应家庭的收入、车辆拥有量和家庭结构等资料所导出的数学分布方法来估计。

② 构造聚类分析模型的步骤：

a. 有关家庭的横向分类。上海曾以住宅类型、家庭人口及自行车拥有量作为分类项目，研究出行发生模型。

b. 把每个家庭定位到横向类别，即对家庭访问调查资料进行分类，把每个家庭归入其所属类别。

c. 对其所分的每一类计算其平均出行率。用调查的每类出行发生量除以每类的家庭总数，则可分别得出每类家庭的平均出行率。

d. 计算各分区的出行发生。把分区中每一类的家庭数乘以该类的出行发生率，并将分区中所有类别的家庭出行量加起来，得到出行总量。

③ 聚类分析法的主要优点：

a. 直观、容易了解。人们容易接受出行发生与住户特性关系的观念，不像回归分析那样必须了解相关性、参数值等因素。

b. 资料的有效利用。从现有的 OD 调查中就可获得完整的资料，即使没有，也可通过小规模调查得到。

c. 容易检验与更新。出行发生率很容易通过小规模抽样调查与小区的特性分析来校核其正确性。

d. 可以适用于各种研究范围。由于出行发生基于住户的特性，出行吸引基于土地利用特性。因此，其出行生成、吸引率可以用于各种范围研究，如区域规划、运输通道规划和新发展区。

④ 聚类分析法的主要缺点：

a. 每一横向分类的小格中，住户彼此之间的差异性被忽略。

b. 因各小格样本数的不同，得到的出行率用于预测时会失去其一致的精确性。

c. 同一类变量类别等级的确定是凭个人主观，失之客观。

d. 当本方法用于预测时，每一小格规划年的资料预测将是一项繁杂工作。

聚类分析法以估计给定出行目的每户家庭的出行发生量为基础，建立以家庭属性为变量的函数，并且突出家庭的规模、收入、拥有小汽车数分类调查统计，得出相应的出行发生率，由现状出行发生率得到现状出行量，由将来出行发生率来得到将来出行量。

（2）交通的分布　四阶段法的第二阶段为交通的分布预测，这个阶段的任务是将交通发生与吸引预测阶段获得的各个交通小区的出行量转换成为小区之间的空间 OD 量。

1）增长率法。增长率法是在现状分布交通量的基础上，通过对分布交通量的增长率法进行研究分析，预测未来交通分布的一种方法。根据增长率模型的不同，增长率法可以分为单一增长率法、平均增长率法、底特律法和弗拉塔法四种。

2）重力模型。重力模型是一种最常用的方法，它根据牛顿的万有引力定律，即两物体间的引力与两物体的质量之积成正比，而与它们之间距离的平方成反比类推而成。

3）增长率法和重力模型优缺点对比见表 9-1。

表 9-1　增长率法和重力模型优缺点对比

方　法	优　点	缺　点
增长率法	1）结构简单、实用的比较多，不需要交通小区之间的距离和时间 2）可以适用于小时交通量或日交通量等的预测，也可以获得各种交通目的的 OD 交通量 3）对于变化较小的 OD 表预测非常有效 4）预测铁路车站间的 OD 分布非常有效。这时，一般仅增加部分 OD 表，然后将增加部分 OD 表加到现状 OD 表上，求出将来 OD 表	1）必须有所有小区的 OD 交通量 2）对象地区发生大规模变化时，该方法不适用
重力模型	1）直观上容易理解 2）能考虑线网的变化和土地使用对人们出行产生的影响 3）特定交通小区之间的 OD 交通量为零时也能预测 4）能比较敏感地反映交通小区之间行驶时间变化的情况	1）模型尽管能考虑到线网的变化和土地使用对出行的影响，但缺乏对人的出行行为的分析，跟实际情况存在一定的偏差 2）一般情况下，人们的出行距离分布在全区域并非为定值，而重力模型将其视为定值 3）交通小区之间的行驶时间因交通方式和时间段的不同而异，而重力模型使用了同一时间 4）求小区内交通量时的行驶时间难以给出 5）当交通小区之间的距离小时，有夸大预测的可能性。 6）利用最小二乘法标定的重力模型计算出的分布交通量必须借助于其他方法进行收敛计算

（3）交通方式划分　四阶段预测法中的第三阶段为交通方式划分，这个阶段的任务是依据历史数据，预测不同交通方式的客流量分担率和交通量。交通方式划分模型的建模思路有两种：①是假设历史的变化情况在将来继续延续下去的前提下，研究交通需求的变化；②是从城市规划的角度出发，为了实现所期望的交通方式划分，如何改良、建设各种交通设施引导人们的出行，以及如何制定各种交通管理规则等。新交通方式（新线道路运输工具、轨道交通等）的交通需求预测问题属于后者。

客流量分担率预测方法按照预测的基本单位性质不同，可分为集计模型和非集计模型。集计模型是以交通小区为基本研究单位，对居民按交通小区划分进行统一调查、统计、分析和预测；非集计模型则是以研究范围内居民个人出行方式为基本研究单位，进行调查、统计、分析，并构造不同交通方式的客流量分担率预测模型，预测各种交通方式的选择概率，然后再将交通方式选择结果统计起来，预测交通方式的划分率。应用比较广泛的交通方式划分模型有划分率曲线模型、函数模型、出行端点模型和出行转换模型。以下介绍划分率曲线模型和函数模型。

1）划分率曲线模型。划分率曲线模型是最早获得实际应用的模型。它是于 1950 年根据高速公路规划建设的需要提出的，因此它以道路网为对象，将高速公路作为一种交通方式，研究其交通量的划分率，是一种径路划分模型。

2）函数模型（线性函数模型、Logit 模型、Probit 模型）。

① 线性函数模型。线性函数模型是最早开发的模型，其自变量为影响交通方式选择的要素，因变量为交通方式划分率。

② Logit 模型。一般交通方式的效用（UjⅣtilit）因其交通方式所具有的特性和社会经济属性的不同而异。然而，实际中不可能将所有的因素全都实测出，因此人们认为，效用是按照一定的概率随机变动。

③ Probit 模型。假设效用函数中的随机项服从多变量正态分布，则交通方式选择模型将成为 Probit 模型。

（4）交通流分配　在交通流分配方法的理论研究过程中，经历了全有全无的最短路径方法、Wardrop 第一定理和 Wardrop 第二定理、Beckmann 提出的交通平衡分配模型、随机分配模型、动态分配模型等阶段。其中 Beckmann 交通分配平衡模型是在满足 Wardrop 定理前提下提出来的，这一数学规划模型奠定了交通流分配问题的理论基础。后来的许多分配模型，如弹性需求分配模型、组合分配模型等都是在 Beckmann 模型的基础上扩展得到的，如图 9-1 所示。

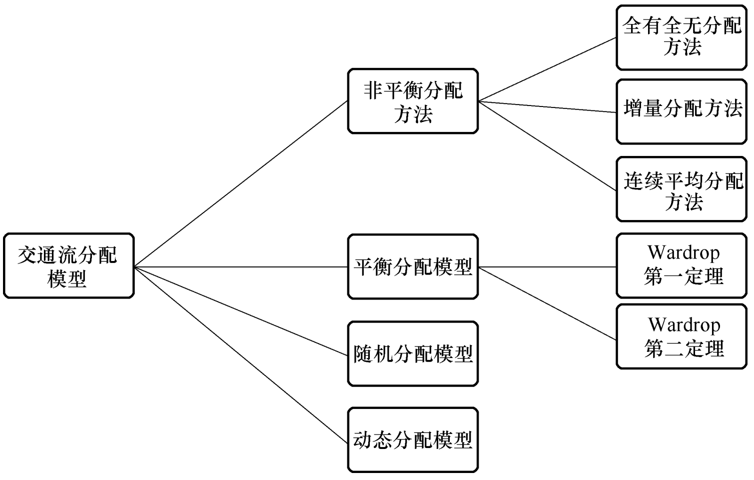


图 9-1　交通流分配模型

3. 道路交通客流预测分析

现代有轨电车在大多情况下采用地面铺设的方式，同时通过的道路大多

为主要干道，通常情况下现状交通流量较大，如果每个方向减少一条车道将对道路交通产生较大影响，也会对地面交通产生较大压力。为此，需要对与现代有轨电车线路相关的地面道路进行道路交通的客流分析，以免影响地面交通的通畅。大多数情况下，现代有轨电车的线路建设不应减少道路现有车道数量，尽量采用“占一还一”的方案，以保证道路交通顺畅。

9.2 运营方案

现代有轨电车系统运营是现代有轨电车的主要功能，本章依据其技术特点及相关运营经验，提出实现其功能的主要方案，分析其运营的相关内容的可行性。

9.2.1 运营公司管理方案设计原则

现代有轨电车建成后可采用成立单独的现代有轨电车运营公司或移交公交公司管理两种方案。从现代有轨电车运营特点出发，其与地铁和公交均有相似之处，但又不是完全相同。现代有轨电车设备系统中的设备专业与地铁类似，一般可委托地铁运营公司管理，也可由成立独立的现代有轨电车运营公司管理。运营公司管理方案设计应遵循以下原则。

1）借鉴先进管理经验，建立符合实际的运营管理模式及现代企业管理机制。

2）在完成企业任务目标的前提下，尽可能地减少管理层次，力求机构精、人员少、效率高。

3）生产经营系统在强调专业分工协作的同时，要加强专业间横向联系，以发挥管理的整体效率。

4）充分利用社会资源，降低运营成本，避免“大而全”“小而全”。

9.2.2 行车计划与组织

现代有轨电车为模块化列车，每列车由特定模块车辆组成。列车编组辆数即模块数将决定全线的运营服务水平、输送能力和车站规模。应在满足预测客流运输需求、尽量节省运营成本并保证为乘客提供优质服务水平的前提下，确定合适的列车编组。

根据初、近、远期客流预测结果，初、近、远期可考虑三种编组方案，见表9-2。

表9-2 初期、近期、远期编组方案

年　度	项　目	列车编组		
		3模块	4模块	5模块
初期	高峰断面/(人/h)			
	列车定员/(5人/m²)			
	列车长度/m			
	列车对数			
	行车间隔/min			
	运用车/列			
	输送能力/(人/h)			
	运能余量			

（续）

年　度	项　目	列车编组		
		3 模块	4 模块	5 模块
近期	高峰断面/（人/h）			
	列车定员/（5 人/m^2）			
	列车长度/m			
	列车对数			
	行车间隔/min			
	运用车/列			
	输送能力/（人/h）			
	运能余量			
远期	高峰断面/（人/h）			
	列车定员/（5 人/m^2）			
	列车长度/m			
	列车对数			
	行车间隔/min			
	运用车/列			
	输送能力/（人/h）			
	运能余量			

全日行车计划是营业时间内各个小时开行的列车对数计划，它规定了轨道交通线路的日常作业任务，是科学地组织运送乘客的办法，又是编制列车运行图、计算运营工作量和确定车辆配备数的基础依据。

全日行车计划是根据全日各时段客流分布比例确定的，高峰时段行车量必须满足高峰小时客流预测量，平峰时段除应考虑满足客流预测量外，还应保证一定的服务水平，见表 9-3。

表 9-3　全日行车计划　（单位：对）

营业时间	初　期	近　期	远　期
5：00—6：00			
6：00—7：00			
⋮			
21：00—22：00			
22：00—23：00			
合计			

9.2.3　运营计划与管理

通常情况下，列车运营时间为 5：00—23：00，全日运营 18h，采用右侧行车。实际运营时可根据地铁及公交的首、末班车时间进行调整。

现代有轨电车可实行人工调度管理模式，由公司级运营部门按照客流要求编制时刻表，在全线首、末站、车辆段设置人工调度，尽量按照运行时刻表控制列车的出发时间及出退勤作业。

控制中心调度员根据车辆实时定位，并依据系统传回的信息进行运营调度；通过设在站台上的电子站牌和设在车上的车载终端设备，向乘客发布实时运营信息和公共信息。道口信号和道路信号系统由交警部门控制。

运营控制中心应具备与驾驶员即时通话、对现代有轨电车在正线上的位置，以及对供电系统进行集中监视和指挥能力。车站宜增加乘客与控制中心直接通话的语音或视频功能及报警功能。

9.2.4 人员管理

1）运营单位应制定完成生产、技术及管理等岗位工作人员的定岗、定职、定薪、考核及培训等规章制度。

2）现代有轨电车的驾驶员需拥有汽车 C 级或以上级别证件并考取 P 证方可驾驶，现代有轨电车特种车辆的驾驶员需拥有 A 级证件。

3）现代有轨电车的调度员需具有调度员上岗资格证。

4）一线岗位人员需定期进行身体检查。

5）一线岗位人员脱离岗位六个月以上或发生责任事故，需进行身体与心理检测并重新考取上岗证。

6）运营单位应根据岗位工作类别，定期组织员工进行专业操作技能和安全规章制度的培训。

7）行车一线岗位人员需接受行车组织规则、车辆与行车设备设施的基础知识、故障判断及初步处理、非正常行车等内容的培训。

8）行车一线岗位人员在上岗前应进行车辆故障、社会车辆侵限、火灾及脱轨等事故模拟操作演练。

9）一线岗位人员应定期进行安全教育（包括岗前三级安全教育）、事故案例教育。

10）运营单位应根据不同岗位人员安排不同级别、不同方式的周期性培训。

11）运营单位培训方式包括内部培训、外聘讲师培训、外出培训和咨询公司培训。

9.2.5 票务管理

1. 售检票方式

根据不同的售票和检票位置，常用的公共交通系统售检票方式分为三类：车上售检票、车下售检票和车下售票/车上检票。

（1）车上售检票　售票和检票功能在车上完成。

1）IC 卡乘客：在车上通过车载检票机付费同时完成检票。

2）其他乘客：在车上售票员处完成购票同时完成检票。

3）应用实例：张江现代有轨电车。

（2）车下售检票　售票和检票功能在车下完成。

1）IC 卡乘客：在车站通过闸机刷卡付费同时完成检票。

2）其他乘客：在车站通过售票机购票，并通过闸机检票。

3）应用实例：厦门快速公交（BRT）。

（3）车下售票/车上检票　售票在车下完成，检票在车上完成。

1）IC 卡乘客：在车站刷卡付费并获得付费凭证；在车上由工作人员检票。

2）其他乘客：在车站通过售票机付费同时获得购票凭证；在车上由工作人员对购票凭证实施抽样检票。

3）应用实例：香港现代有轨电车。

2. 车票制式

目前现代有轨电车系统票价制度一般有两种，即单一票价制和计程计时票价制，这两种票制各有以下优点和缺点。

（1）单一票价制　单一票价制即乘客乘车不分乘车距离远近，都支付相同的车费。其特点：①乘客进站乘车只在上车或进站时检票，下车或出站时不再检票；②全线各车站发售同一面值的车票。

采用单一票价制的优点：

1）乘车实行上车检票制，下车不检票，可减少检票设备进而降低运营支出。

2）不用安装自动售检票设备，可降低工程投资。

3）各车站发售同一面值的车票，制票和车票管理方便。

采用单一票价制的缺点：

1）不分乘车距离远近都支付相同的车费，乘客的负担不合理，因而不利于吸引短途乘客，进而影响运营公司的收入。

2）人工售票、人工检票逃票率较高。除了人情票、点头票以外，还可能引发售票员与检票员相互勾结侵吞票款的事情。

（2）计程计时票价制　计程计时票价制，即根据乘客乘车距离远近和时间收取相应的车费。计程计时票价制的特点是乘客乘车时，上车和下车都要进行检票。

计程计时票价制的优点：

1）按乘车距离远近收费，可兼顾地铁公司与乘客双方的利益，有利于吸引客流，增加运营公司的收入。

2）可杜绝逃票和作弊的漏洞。

计程计时票价制的缺点：

1）车票实行双检制，进站口、出站口均需设检票员，增加了车站定员。

2）车站需安装自动售票、检票设备，需投入巨额资金。

3）各车站的计费区段不同，车票种类较多，需采用自动售检票系统。

通过对单一票价制和计程计时票价制优缺点的分析比较，结合工程的特点，建议选择合适的票价制。

（3）车票形式　车票分为单程票、储值票。

单程票一次使用有效；储值票可采用非接触式 IC 卡，不回收，可充值，长期使用。以后根据需要可增加其他票种。

9.2.6　车辆管理

1）一般要求。新车应进行载重、爬坡及千公里等多种试验后方可投入运营；车辆维修

应针对各专业设置工程师，负责车辆的运用、检修的协调工作；车辆选型时，需考虑配套设施是否满足不同车型需求，车型尽量统一；车内安全标识、引导标识、无障碍设施、灭火器及广播通信等设备应合理设置；车辆厂家应提供详细的故障处理指南；现代有轨电车车辆应提供可以放置行车备品的备品柜。

2）车辆运用与维护。根据运营需求，车辆部门应制订相应的运用车、维修车及备用车计划；根据车辆实际技术状态、走行公里及使用时间确定检修周期和检修规程、可采用日检、双周检、月检、年检（定修）、大修及厂架修等；车辆保养与维修应加强与信号、通信等系统的协调与配合；运营单位应编制车辆维修操作规程，建立车辆维修档案管理制度，维修记录应至少保存 5 年；运营单位应制定车辆保洁制度，车体清洗可定期进行，客室保洁可分为运营时段的简单处理与回段后的整体保洁；运营单位应对车辆维修保养的易耗品进行详细的分类管理，包括易耗品的功能描述、使用效果等进行管理；根据轮缘损耗情况，车辆应定期进行调头作业。

9.2.7 设备设施管理

1）运营单位应建立包括轨道和路基、绿化养护、杂散电流检测、供电系统、通信系统、信号系统、消防与排水系统及火灾自动报警系统等设备系统的台账，包括设备名称、数量、分布地点、接收时间、预计使用寿命和备品备件清单等内容。

2）运营单位应保障设备、设施技术状态良好，无侵限现象。

3）运营单位应针对设备、设施制定日常巡检、测试及维修的周期性计划。

4）对设备机房、变电所等场所进行门禁管理，不得随意更改系统设置或接入其他电子设备。

5）运营单位应根据不同设备的使用特点，逐步由计划修向状态修的转变。

6）变电设备及计量器具应由具备资质的单位进行周期检验，运营单位保存检验报告。

7）设备维修管理模式一般分为自主维修和委外维修两种，应在考虑公司整体发展规划、运营规模及城市地域特点等情况后，选择较为经济的维修与保养方式。

8）运营单位应在保障运营的前提下，根据维修作业的影响范围、作业时间等进行分类，并合理安排设备设施的维修与施工。

9）运营单位应对设备采购合同、安装调试交验手册、竣工资料、操作手册、图纸和培训手册等进行存档管理。

10）运营单位应对设备设施建立管理指标，包括故障率、故障影响及可靠度等进行统计，加强对责任单位或委外单位的管理。

11）设备设施各系统部门应建立有效的沟通协作机制，以便于进行联合作业。

9.2.8 安全管理

1）一般要求。运营单位应设立安全生产管理机构，保证安全生产所必需的资金投入；运营单位应配备专、兼职安全生产管理人员；运营单位应确定安全生产责任制，实行安全生产目标分级管理、逐级落实安全生产目标并进行监督考核；运营单位应加强从业人员劳动保护，做好防毒、防尘、防辐射、防噪、防寒保暖和防暑降温等工作，不断改善从业人员的劳动条件。

2）安全管理制度。运营单位应建立安全生产管理制度，使安全生产规范化、制度化、标准化；运营单位需实行安全事故责任追究制度，严格事故调查处理；运营单位应严格限制可燃物使用，对易燃品保存及使用制订严格的管理制度。

3）安全隐患管理。运营单位应针对人员、设备、环境及管理等安全风险因素，建立重大安全隐患台账，制订重大安全隐患源管理制度；运营单位应定期进行安全隐患排查工作，对于查出的隐患采取相应的防控措施并在公司内通报；运营单位应定期跟踪安全隐患整改情况，对重大安全隐患整改情况进行监督。

4）安全教育。运营单位应建立健全安全生产教育培训制度，落实培训计划，安排培训事项，认真组织实施；对从业人员进行安全生产教育培训，考核不合格者禁止上岗作业；当采用新工艺、新技术、新设备时，需对从业人员进行专门的安全知识和生产技能培训；运营单位应建立安全培训档案管理制度，对各种类型的安全教育做好记录。

9.2.9　运营机构

运营公司应实行单独核算、独立经营，实行公司、部、车间（室）三级管理体制。运营公司下设客运部、车辆部、技术部、物资部、综合维修部、安全监察部、人力资源部、计划财务部和综合办公室等部门。各部门分工协作，全面承担此新公交系统的运营管理工作。

定员设置本着精简机构、提高效率的原则，根据各设计年度的运量及设备配备情况进行配备。

各主要部门的职责如下：

1）客运部：负责组织和管理行车、客运和乘务工作，负责票务采购、收发、审计等工作。

2）车辆部：负责车辆的运用、检修和段内设备维修等任务。

3）技术部：负责制订公司经营计划，负责公司质量、计量、标准、信息及科研开发等重大技术问题和技术管理事项，提供可靠的技术保证。

4）物资部：负责物资的集中管理与采购工作。

5）综合维修部：负责车辆维修范围以外所有设备的运用、巡检、维修及保养工作。设有土建工务车间、强电车间和弱电车间。

6）安全监察部：负责制订公司安全规章、规范，负责公司运营安全的监督、检查工作。

7）人力资源部：负责组织和管理公司的劳动人事、工资、员工培训、人事档案、劳动保护及养老保险等工作。

8）计划财务部：负责财务管理、成本管理，搞好公司经济核算、资金安排使用工作。

9）综合办公室：负责组织和管理公司公关文秘、行政、总务、后勤、车队及保卫等综合工作。

9.2.10　运营要求评价

根据轨道交通项目建设和管理经验，在工程进行期间，各部门相互配合、相互促进，可以使各项工作得到有效控制、各项工作有序进行；在运营期间，加强培训、严格管理，公司的机构也能很好地完成运营管理工作。

9.3 线路方案

线路是城市现代有轨电车的基本组成部分，线路总体布局应重点把握功能定位、换乘、客流效益，并满足行车安全、平顺与养护维修工作的方便等要求，保证乘客一定的舒适度，符合有关设计规范的要求。线路方案是在已经确定的城市现代有轨电车线网的条件下，研究某一条或某一段线路的具体位置，确定其相关细节，包括线路的路由方案、铺设方式以及站点的选择等。

可行性研究阶段主要是通过线路多方案比选，完善线路走向、路由、铺设方式，确定车站、辅助线等的分布，提出设计指导思想、主要技术标准、线路平纵断面及车站的大致位置等。

9.3.1 选线布站原则

1）线路路由及车站分布应根据城市现状、城市总体发展规划及综合交通规划综合考虑，并根据不同使用功能和条件进行多方案比选，充分考虑城市及道路布局规划，与之协调相互衔接，构建交通动脉，引导城市拓展，带动沿线开发，促进城市发展。

2）布置车站时要依据城市布局和规划、道路网和公交枢纽状况以及客流情况。车站应设在道路交叉点、大型客流集散中心和公交枢纽站附近，最大限度地吸引和方便乘客，全面优化居民出行结构、改善交通环境、提高运营效率，以方便居民出行，从而有效吸引客流，并提高运营效益。

3）选线时应充分考虑地质情况，线路宜设置在地质条件较好的地层，尽量避开不良地质地段，降低工程难度，保证运营安全。

4）选线时应充分考虑桥梁、路基等施工条件，结合规划选择铺设方式，最大限度地减少拆迁，并避让环保敏感点、重大拆迁等外界控制点，统筹考虑近期、远期运营条件，合理布置工程附属设施，对有价值的方案做细致的技术经济比较，做到线路方案稳定，工程投资最少。

5）线路的平、纵断面设置应充分考虑乘客的舒适度，尽量避免使用小曲线、坡度起伏大等状况，减少限速地段。

6）线路平面应结合沿线景观要求，因地制宜选择与道路红线的关系（路侧、路中），车站线路宜与规划红线平行。

7）车站设置应结合路口形式，因地制宜确定车站的位置和形式，与路口的信号灯控制相适应，既方便乘客使用，又有利于提高运营效率。

8）线路坡度应尽量随地形起伏而平缓变化并保持和所沿道路坡度一致，以保持线型舒展和景观良好。

9）线路设计、景观设计应充分考虑与地方自然环境的协调，整体上营造干净、整洁、令人耳目一新的出行环境，使之成为一道亮丽的风景线，体现绿色交通理念，提升城市形象。

9.3.2 线路设计

城市现代有轨电车系统线路按其在运营中的作用可分为正线、辅助线和车场线，线路设

计内容又分为平面、纵断面和横断面三个部分，各自都需满足一定的标准；同时，这三者又是一个整体不同侧面的反映，设计时需要有机地结合起来。

由于国内外对城市现代有轨电车还没有形成统一的技术标准，大部分设计院主要是依据地铁和轻轨标准对城市现代有轨电车进行设计，根据（建标 104—2008）《城市轨道交通工程项目建设标准》规定，城市轨道交通线路总体布局应重点把握功能定位、接驳换乘、客流效益，并应符合下列规定：

1）拟建线路应依据城市轨道交通线网规划进行选线布站。根据在线网中功能定位和客流预测分析，明确线路性质、运量等级和速度目标。

2）拟建线路应有全日客流效益、通勤客流规模、大型客流点的支撑。车站应服务于重要客流集散点，起讫点车站应与其他交通枢纽相配合，构筑城市交通一体化，并落实城市规划用地。

3）拟建线路起、终点不应设在市区内大客流断面位置，也不宜设在高峰断面流量小于全线高峰小时单向最大断面流量的位置。

4）每条线路长度不宜大于 35km，旅行速度不应低于相关的规定。

5）对超长线路应以最长交路运行 1h 为目标，旅行速度达到最高运行速度的 45%～50% 为宜。对穿越城市中心的超长型线路，应分析全线不同地段客流断面和分区 OD 的特征；分析在线网中车站和换乘点分布；分析现代有轨电车在各区间的满载率，合理确定线路起讫点、站间距和旅行速度目标。

6）当新建初期线路由两条线路的部分地段组合为一期工程，贯通运行时应具备下列条件：

① 两条线路选用的车辆、轨道、信号和供电制式应一致，并不得影响远期车站规模。

② 两条正线为二期延伸预留工程实施应有足够施工长度，并不得影响一期线路安全运行。

③ 两条线路初期组合贯通运行，应设置双线联络线（或渡线）。当两条正线分别延伸为独立运营后，联络线退出正线运行，但仍应保留联络线功能。

7）轨道交通全封闭式线路应采用立体交叉方式。

8）对设置支线的运行线路，支线长度不宜过长，接轨点必须在车站，宜选在客流断面较小的地段。正线、支线进站方向宜设置为同站台两侧平行进路。

9）两条正线共线运行地段，应符合支线接轨条件，且应分别满足两线现代有轨电车行车密度的要求。

第10章 现代有轨电车车辆及工程限界

现代有轨电车工程是一项以车辆为主导的系统工程，车辆承担安全、快捷、有效运送乘客的任务，与乘客的联系最为紧密，是实现工程总目标的重要工具和设备。现代有轨电车系统工程的建设内容主要有线路、轨道、车站、桥梁、路基、限界、供电及车辆基地等，均需要围绕车辆的技术要求来展开，故车辆型式的确定是选择线路技术标准的基础，是确定相关土建工程和设备规模的主要依据；同时，车辆制式也与运营模式和管理方式密切相关。合理选用车辆及其技术条件是控制工程投资、降低运营成本和提高运营效益的最有效、最直接的途径之一；同时，依据现代有轨电车的技术特点和相关经验，提出系统建设的限界要求。

10.1 车辆选型原则

现代有轨电车行驶于道路交通之中，与其他社会交通形式相互关联，相比地铁系统在处理交通关系上更加复杂；同时，车辆也更具直观性、可接近性。因此，车辆的性能需更加偏向社会交通的要求，对车辆的外观和形式需要更融入城市的景观及环境。

车辆形式选择原则如下：

1）车辆选型及编组应满足客运量的需要，综合考虑系统的服务水平和运营成本，并保证远期线路运能有适当的储备。

2）城区地面交通复杂，城市道路交叉口多，现代有轨电车线路与城市道路存在较多平面交叉口，现代有轨电车与其他道路交通方式存在相互关联，车辆的技术条件应适应工程的线路条件和环境条件。

3）在选择现代有轨电车车型时，需考虑外形美观并符合城市特点，满足环保节能、噪声低、振动小及服务水平较高等要求。

4）现代有轨电车作为新型的现代化交通工具，必须贯彻以人为本的理念，车辆设计需满足人性化的要求。

5）近期线路通常为线网规划的一部分，需考虑车辆、车辆基地资源共享的可能性，车辆及各项设备应技术先进、成熟，有较高的通用性、互换性和可维修性，且选用的车辆应有可靠的来源。

6）车辆是现代有轨电车工程中的重要设备，应满足国家有关车辆国产化的要求，努力降低车辆造价。

10.2　现代有轨电车的分类

现代有轨电车有两种方式：钢轮钢轨与胶轮导轨。

1. 钢轮钢轨现代有轨电车

钢轮钢轨现代有轨电车的走行部称为转向架，主要由车轮、构架、轴箱、悬挂及牵引部件等组成。车轮通过轴箱固定于构架上，通过悬挂和牵引部件与车体相连，走行于两根钢轨上。转向架同时起到了承重和导向的作用。

2. 胶轮导轨现代有轨电车

胶轮导轨现代有轨电车的走行部主要由橡胶轮、构架、悬挂及导向轮等组成，橡胶轮被固定于构架上，通过悬挂装置与车辆相连，橡胶轮走行于普通路面上，只起承重的作用。导向轮通过构架与车体相连，与道路上铺设的导向轨配合，为车辆起导向作用。

10.3　车辆型式的比较

钢轮钢轨现代有轨电车和胶轮导轨现代有轨电车作为目前现代有轨电车的两种不同制式，各有其优势与不足，其不同的特点适应不同的工程需求。

1. 载客量

钢轮钢轨现代有轨电车和胶轮导轨现代有轨电车车辆都可模块化设计，根据客流需求可以增加模块数，也可以采用两列车联挂等方式增加系统运能。一般情况下，现代有轨电车线路高峰小时发车间隔可达 2.5min 一列，则此时钢轮钢轨现代有轨电车或胶轮导轨现代有轨电车的运能分别见表 10-1 和表 10-2。

表 10-1　钢轮钢轨现代有轨电车的运能

模块数量	车辆长度/m	列车定员	高峰小时列车对数/对	单车最大运能/(人/h)
短编组	32-36	300 人	24	7200
长编组	43-45	400 人	24	9600
长编组	54-72	600 人	24	14400

表 10-2　胶轮导轨现代有轨电车的运能

模块数量	车辆长度/m	列车定员	高峰小时列车对数/对	单车最大运能/(人/h)
3 模块	25	167	24	4008
4 模块	32	223	24	5352
5 模块	39	279	24	6696
6 模块	46	335	24	8040

依照上述两表中现代有轨电车的运能情况，通过调整车辆模块数或者组织车辆联挂运营，钢轮钢轨和胶轮导轨车辆均可以满足不同的客流需求，但钢轮钢轨车辆的单车载客量高于胶轮导轨车辆。

2. 线路条件

钢轮钢轨现代有轨电车可通过最小曲线半径为 25m，最大爬坡能力 70‰。

胶轮导轨现代有轨电车可通过最小曲线半径为10.5m，最大爬坡能力130‰。

3. 节能环保

（1）节能　钢轮钢轨现代有轨电车由于采用钢制轮轨接触的方式，其滚动摩擦因数小，而胶轮导轨现代有轨电车由于采用橡胶轮胎，其在沥青路面上的滚动摩擦因数为钢轮钢轨现代有轨电车的10倍以上。因此，钢轮钢轨现代有轨电车与胶轮导轨现代有轨电车相比，克服摩擦力的无用功少了很多，在能耗方面体现了较大的优势。

（2）环保　现代有轨电车采用电力驱动，不存在废气排放的问题，因此车辆对环境方面的影响主要体现在车辆运行噪声方面。

4. 美观舒适

（1）美观　现代有轨电车车辆经过多年的发展与革新，在车辆外观上发展显著，无论是钢轮钢轨还是胶轮导轨现代有轨电车，其车辆自身外观都较为时尚美观。

根据两种车型的轨道形式，当采用中央布置形式时，钢轮钢轨和胶轮导轨现代有轨电车均可以满足线路的铺设要求。采用单侧或两侧绿化带铺设时，由于钢轮钢轨现代有轨电车系统不再需要普通路面，因此与绿化结合的景观效果较好。

胶轮导轨现代有轨电车由于采用橡胶轮胎，必须运行于普通的混凝土或沥青路面上。当运行于混凝土路面时，往往由于长时间的摩擦容易产生道路辙痕，影响城市道路景观；钢轮钢轨现代有轨电车采用钢轮运行于钢轨上，对城市道路整洁基本无影响，轨道中间还可以铺设绿化、石块或木板等其他材质来装点城市的颜色。

因此，从系统形象方面来看，钢轮钢轨现代有轨电车系统更加美观。

（2）舒适　钢轮钢轨现代有轨电车路基处理深度大、结构强度要求高，左右钢轨之间通过轨枕相连，两者之间基本无差异，且钢轨表面光滑平顺，因此在车辆运行时，乘客乘坐舒适度较好。

胶轮导轨现代有轨电车采用橡胶轮胎和导向轮装置，橡胶轮胎走行于道路上，舒适度的好坏取决于道路路面的平整度，且导向轨通过黏性树脂材料固定于道路凹槽中，和道路之间为柔性连接，造成车辆运行过程中的晃动量较大。

5. 运营维护成本

现代有轨电车的运营维护成本主要体现在三个方面，分别为用电费用、人员薪金和车辆维护费用。

1）在相同的运营计划下，由于胶轮导轨能耗高，因此其用电量比钢轮钢轨大。

2）人员薪金方面与车辆制式关系较小，因此两者没有大的差别。

3）车辆维护费用方面，钢轮钢轨现代有轨电车采用钢制车轮，磨耗量小，通常约10万公里进行一次镟轮作业，其寿命通常为40万～50万km；轨道采用埋入式，通常为免维护，偶尔进行钢轨打磨。胶轮导轨现代有轨电车采用橡胶轮和导向轮，磨耗快，更换频繁，维护工作量较大；为满足车辆舒适度要求，路面需经常进行修整。因此，钢轮钢轨现代有轨电车车辆维护费用较低。

10.4　车辆供电制式的选择

钢轮钢轨现代有轨电车按供电方式可分为接触网供电和无触网供电，其中无触网供电包

括第三轨供电、磁性吸附式供电、电磁感应供电和储能式供电。

1. 接触网供电

接触网供电系统是一种悬挂在轨道上方并沿轨道方向铺设并与轨面保持一定距离的输电网，沿线每隔 40m 左右布置接触网立柱，接触网线悬挂在立柱上，车辆通过车顶的受电弓从接触网线受电驱动车辆不断运行。

接触网供电系统是最基本的、成熟的和可靠的供电技术，在国内外现代有轨电车项目中广泛采用。接触网沿线，特别是交叉口区域的景观效果较差，但可能通过精简接触网设计、融合环境（如结合路灯、交通岛）等方法改善其对环境的影响。

2. 第三轨供电

APS 第三轨供电采用在地面上铺设的供电轨取代了架空接触网。供电轨由 3m 长的绝缘体和 8m 长的导电体相间铺设而成。车辆底部安装有受电靴，在车辆运行过程中，感应装置感应到有车辆通过时，相应的导电段（必须被车体完全覆盖）接通电源而带电，车辆通过受电靴从接触轨上取电，没有车辆通过的区域接触轨不会带电，以保证其他车辆和行人的安全。在车辆前进过程中，通过不断切换导电体的工作状态以满足车辆连续受电的需求。

APS 供电技术景观效果好。该技术为法国阿尔斯通公司的专利技术，国际上波尔多、兰斯、奥尔良、巴西利亚和迪拜等地有应用案例。

3. 磁性吸附式供电

磁性吸附式供电技术采用自然磁力相吸技术，安装在车辆转向架上的受电靴和地面模块内的柔性导电排都装有永磁材料，当受电靴经过模块供电节表面时，模块内的柔性导电排受磁力吸引上升，导通供电电源正极，模块表面带电，受电靴与模块表面接触将高压电引入车内；当受电靴离开模块供电节表面后，柔性导电排受重力作用，回落到与安全负极相接触的位置，模块表面失电并保证模块供电节表面与安全负极相连，以确保乘客人身安全。

磁性吸附式供电技术景观效果好。该技术为意大利安萨尔多公司的专利技术。

4. 电磁感应供电

电磁感应供电技术利用电磁感应现象，将电缆回路预先埋设在轨道结构下方，车体底部安装有耦合线圈。车辆起动时，通过车载储能装置起动；在运行过程中，电缆回路通电形成电磁场，车辆上的耦合线圈不断切割磁力线，产生电磁感应，形成电流，为车辆供电的同时给车载储能装置充电。

电磁感应供电技术景观效果好。该技术为加拿大庞巴迪的专利技术。

5. 蓄电池供电

通过在车辆顶部加装储能的蓄电池包，车辆在车辆段或起、终点站充满电后，在线路上通过电池包向车辆牵引系统及辅助供电系统进行供电，维持车辆正常运营。装配电池包的数量受车顶空间和车辆轴重的限制，通过选择能量密度较大的锂电池，可以增大单位重量下电池包的储能能力；通过在沿线车站上设置充电站，利用车辆在车站区域的时间及时补充电池包电能，可在保证蓄电池较浅的放电深度下维持车辆较长距离运行。

蓄电池供电技术沿线景观效果好，非专利技术，车辆招标灵活。该供电技术车辆成本较高，动力性能相对较差，车站景观一般；蓄电池供电的造价主要分为两部分：①车辆增加电池费用；②供电系统相对其他供电系统更加复杂，其造价更高。

6. 超级电容供电

超级电容的能量密度比蓄电池小，储存电能较少，但其具有快速充放电的特性，因此利用车站设置充电站，利用停站时间对超级电容进行快速充电，也可以实现长距离连续运行。

超级电容供电沿线景观效果好，非专利技术，车辆招标灵活。该供电技术车辆成本较高，车站景观一般。超级电容供电的投资造价与蓄电池供电基本相同。

10.5 工程限界

通常情况下，现代有轨电车区间最高运行速度为 70km/h，车站最高运行速度为 55km/h。

（1）现代有轨电车工程限界　分为车辆限界、设备限界、建筑限界，受电弓限界是设备限界的组成部分。限界尺寸不包含施工误差、测量及变形误差等。建筑限界是在设备限界基础上，考虑了设备和管线安装尺寸后的最小有效断面。在宽度方向上，设备和设备限界之间应留出 50mm 安全间隙。建筑限界与设备限界之间无管线或其他设备时的距离，一般情况下，应不小于 200mm；特殊困难条件下，应不小于 100mm。

（2）区间建筑限界的确定　区间建筑限界的确定应符合下列规定。

1）地下段的建筑限界参照 GB 50157—2013《地铁设计规范》有关规定；

2）高架线或地面线、U 形槽区间建筑限界的确定应符合：①应按地面或高架线设备限界及设备安装尺寸或疏散（或救援）通道宽度计算确定，各种设备和设备限界的间隙不应小于 50mm。②地面线建筑限界应按路基宽度、两侧排水沟以及管线布置方式等综合确定。

3）轨面以上建筑限界高度。对接触网受电车型，按顶部接触网导线高度 + 接触网安装高度 +200mm 安全间隙确定；对储能装置供电车型，按照车顶设备限界高度 +200mm 安全间隙确定。

（3）车站建筑限界　车站建筑限界的确定应符合下列规定。

1）直线地段。车门处的车厢地板面不应低于站台面，设计时，站台面按低于车门处车厢地板面 50mm 确定；站台边缘至轨道中心线的距离，在站台计算长度范围内按不小于车辆限界 +10mm 确定，在站台计算长度范围外应按不小于车辆限界 +50mm 确定。

2）曲线站台边缘与车门之间的间隙应按线路曲线半径和有无轨道超高计算确定。曲线站台边缘与车辆轮廓线之间的最大间隙不应大于 180mm。

（4）道岔区的建筑限界　应在直线地段建筑限界的基础上，根据不同类型的道岔和车辆技术参数，分别按欠超高和曲线轨道参数计算合成后进行加宽。

（5）车场限界　应符合车场库外限界应按区间限界规定执行；车场库内高平台、安全栅栏与车辆轮廓线之间的间隙应不小于 80mm，低平台建筑限界采用车站站台建筑限界；受电弓车辆升弓进库时，车库大门应按受电弓限界设计。

（6）轨道区管线设备布置原则　应符合轨道区内安装的设备和管线（含支架）与设备限界应保持不小于 50mm 的安全间隙；强、弱电管线宜布置在线路两线之间的路基中，其间隔应符合强、弱电抗干扰距离的有关规定，一般不小于 500mm。区间内的各种管线布置宜保持顺直。

（7）线间距　两线间轨面以上无设备或绿篱时，综合考虑两线间路基断面中管线布置

及电缆检修井空间要求后，最小线间距不宜小于 3400mm；两线间布置接触网立柱时，线间距宜不小于 4300mm；设置接触网及绿化隔离带时应根据其位置、形式、高度等进行计算确定。曲线段应根据车辆参数计算相应的加宽值；单渡线、交叉渡线等特殊地段线间距应根据实际情况计算协商确定。

（8）其他　现代有轨电车用地范围内，应根据限界要求和道路相关设计规范，设置必要的隔离设施或限高标志。平交道口接触网导线安装高度应综合考虑各种跨越现代有轨电车线路的机动车辆高度限界要求。

第11章 建筑及机电设备工程

11.1　建筑工程方案

建设方案研究是项目决策分析的核心内容，是在客流预测及相关技术要求基础上，结合项目实际，通过多方案比选，构造和优化项目建设方案。本章就建设方案中的建筑工程方案进行相关内容的分析。

11.1.1　结构工程

1. 现代有轨电车系统的桥梁工程设计

1）桥梁结构方案的比选需遵循上、下部结构相结合，使上、下部结构协调一致的原则，结构在满足使用性、安全性、耐久性要求的基础上，突出结构的景观性在城市轨道交通中重要的位置。

2）桥面上轨道、电缆支架、声屏障、接触网立柱及护板等附属设施应与主体结构有可靠的连接，并满足限界要求。桥面应设防水层和良好的排水系统，排水设施应便于检查、维修与更换。

3）桥梁结构设计要充分考虑地面、地下已有或已规划建筑物、管线，尽量避免或减少对建筑物、管线和周边环境的不利影响。

4）跨平面交叉路口的桥梁应根据相交道路的主次、道路横断面形式、交通流向等考虑跨越交叉路口的桥式设计，保证车辆在交叉路口安全、顺畅地行驶，并注意景观效果，尽量与周边环境相协调。

5）桥梁与公路、铁路立交或横跨河流时，其桥下净空须满足行车、排洪、通航的要求。

6）基础设计应综合考虑桥梁上部结构类型、工程地质、水文地质及环境要求。基础设计采取承载力和不均匀沉降差双控。

7）桥梁结构计算应满足抗震要求，并采取相应的构造措施，提高结构的整体抗震性能。

8）地面线地段桥梁、涵洞布置应结合线路经由地区的沟渠分布情况设置，满足本线桥梁有关技术要求。

9）区间工法应根据高架线的线路特点而采取相应的施工方法，尽量选择简便易行、高

效、快捷、成熟可靠的施工工艺，以满足安全性、经济性、可靠性及环保性要求。

2. 现代有轨电车系统的路基工程设计

路基是露天土工结构物，除承受轨道和列车荷载作用外，还长期承受各种自然因素的作用。在静、动荷载及各种气象和水文条件作用下，路基应保证足够的强度、稳定性和耐久性。

1）现代有轨电车正线路基可采用整体道床结构型式。

2）路基工程设计以安全适用、技术先进、经济合理为原则。

3）路基设计应尽可能减少占地，并考虑环境保护的要求。

4）路基工程应做到防护与整治相结合，尽可能避免后期出现路基病害。

5）路基排水系统应根据沿线的地形地势、气象水文条件及线路的横纵断面，结合车站、桥梁及市政排水设施进行设计，充分利用既有市政排水设施。

6）路基面宽度根据线路的技术条件、正线数目、线间距、轨道类型、道床形式及尺寸经计算确定，且要满足轨道铺设和养护要求。

7）当现代有轨电车位于市政道路范围时，路基工程在保证现代有轨电车线路稳定、行车安全的基础上，考虑与市政道路工程相协调。

3. 现代有轨电车系统地下结构及隧道工程设计

1）地下结构设计应满足城市规划、运营、施工、防水、防火、防震、防淹、人防、杂散电流防护及耐久性等的有关要求，做到结构安全、技术先进、经济合理。

2）结构设计应根据地质条件，结合周边建（构）筑物、地下管线和道路交通状况，通过技术、经济、环保及使用功能等的综合比较，合理选择结构型式和施工方法。结构设计应减少施工中和建成后对环境造成的不利影响，并应考虑城市规划引起周围环境的改变对车站结构的不利影响。

3）地下结构应具有足够的纵向刚度，并满足长期运营条件下对结构纵向抗裂及抗差异沉降的要求。换乘节点或车站上部建有地面建筑的车站结构设计应充分考虑上述要求，以减少换乘车站中后期建设对已建车站结构的影响。

4）地下结构设计应根据结构和构件类型、使用条件及荷载特征，选择与其特点相应或相近的结构设计规范和设计方法。采取有效措施保证结构在施工及使用期间具有足够的刚度、强度，并满足抗倾覆、滑移、漂浮、疲劳、变形及抗裂等的验算条件。

5）地下结构的净空尺寸除满足建筑限界和建筑设计、车站与相邻区间施工工艺及其他使用要求外，还应考虑施工误差、测量误差、结构变形及后期沉降的影响。

6）地下结构设计中必须包括对环境保护的设计，施工过程中尽可能减小对车站周围环境（重要的建筑物、城市交通干道及地下管线）的负面影响；要根据车站所处的具体工程位置，确定相应的车站基坑变形控制保护等级，并根据各项保护等级的具体指标进行强度、稳定和变形的验算，提出与其相应的地基加固及施工参数、施工监测等具体要求，以确保临近建（构）筑物和地下管线的正常使用。

7）宜采用信息化设计和施工法，为此需建立严格的监控量测和信息反馈制度。监控量测的目的、内容和技术要求应根据施工方法、结构型式及环境条件等综合分析确定。

8）地下结构按经批准的地震设防烈度进行抗震检算，并在结构设计时采取相应的构造措施，以提高结构的整体抗震能力；当地下结构上部建有地面建筑物时，应按整体检算抗震能力。

9）在规定的人防设防区段内的地下车站必须具备战时防护和平战转换功能。

10）地下结构设计应采取防止杂散电流腐蚀的措施，钢结构及钢连接件应进行防锈处理。

11）区间隧道的施工方法应根据所处的周边环境、场地条件和工程与水文地质条件及覆土厚度，经综合比较后确定可采用的施工方法，如盾构法、明挖法和矿山法施工。

12）两条单线隧道之间的净距，应根据工程地质及水文地质条件、线路条件、埋置深度等因素确定，且不宜小于隧道外轮廓直径；当净距不能满足时，应在设计和施工中采取适当的辅助工程措施和结构加强措施。

13）地下结构的防水设计遵循“以混凝土自防水为主、多道设防、因地制宜、综合治理”的原则，根据环境条件、结构型式及施工方法，选择有效、可靠及操作方便的防水方案。应确保混凝土、钢筋混凝土结构的抗渗性、抗裂性和耐久性。

4. 现代有轨电车系统道路工程设计

（1）现代有轨电车项目道路工程设计范围

1）路面工程。在路中铺设现代有轨电车时，应先将现代有轨电车轨道设计范围内的路面挖除，铺设现代有轨电车轨道后，再将路面恢复。当现代有轨电车在水渠上方铺设时，路面设计范围为轨道道床上方路面的铺设。

2）依据轨道交通站点的相关道路拓宽改造（如需要）进行路面工程设计。

3）局部市政道路的平、纵调整。

4）平面交叉改造（如需要）渠化设计及路面工程设计。

5）车辆段连接线新建道路工程设计（如需要）。

（2）主要设计原则

1）道路平面线形原则上维持既有道路线形。

2）纵断面原则上维持既有道路纵断面，当需要调整时，可根据现代有轨电车纵断面协调考虑。

3）平面交叉口原则上不进行改造，个别交叉可根据现代有轨电车转弯需求进行调整。

4）路面设计应根据当地实践经验和既有道路路面结构形式，合理选择路面材料，优化路面结构。新建路面标准应不低于既有道路路面的设计标准，选用的路面结构与当地常用结构相适应。

5）复建的道路路面结构应与两侧既有路面平稳衔接，使复建道路与既有道路结合为一整体。

6）现代有轨电车车站段，根据需要，依据占用的道路宽度不同，对既有道路横断面形式、各组成部分的宽度做出相应调整。

7）复建道路横坡应采用与既有路相同的坡率。

8）超高过渡方式采用与既有道路相同的方式。

11.1.2　交通工程

现代有轨电车的建立、沿线道路的改造和新的交通组织方式，需要对交通工程进行改造，以适应现代有轨电车带来的交通变化。

交通工程主要包括交通管理设施、交通安全设施等内容：交通管理设施包括交通标志、

标线等内容；交通安全设施包括护栏、视线诱导设施等内容。

交通安全和管理设施的设计应确保交通“有序、安全、畅通、低公害”。各项设施应统筹规划、总体设计，并结合城市路网的建设情况逐步补充、完善。道路交通安全和管理设施的设计应与道路同步规划、同步设计。新建交通安全和管理设施应与现有设施协调和匹配，必要时应对现有设施进行调整和完善。

1. 交通管理设施

（1）交通标志　交通标志主要包括：

1）警告标志。警告车辆、行人注意危险地点的标志。

2）禁令标志。禁止或限制车辆、行人交通行为的标志。

3）指示标志。指示车辆、行人行进的标志。

4）指路标志。传递道路方向、地点、距离。

5）辅助标志。附设在主标志下起辅助说明作用的标志。

道路交通标志以确保交通畅通和行车安全为目的，结合道路线形、交通状况及沿线设施等情况，根据交通标志的不同种类来设置，以利于向道路使用者提供正确及时的信息。

道路交通标志的设置应进行总体布局，并考虑现代有轨电车因素，防止出现信息不足或过载的现象。充分考虑道路使用者的行动特性，在动态条件下发现、判读标志及采取行动的时间和前置距离。交通标志应设在车辆行进正面方向最容易看见的地方，可根据具体情况设置在道路右侧、人行道等地方。

道路主要采用的标志有交叉路口标志、限高标志、人行横道标志、限速标志、指路标志、减速让行标志及残疾人指示标志等。标志支架结构有单柱式、单悬臂和附着式等。单柱式适用于警告及指示标志，设置于路侧；单悬臂适用于指路标志；附着式适用于限高标志。

（2）交通标线　交通标线种类主要有车行道分界线、车行道边缘线、人行横道线、减速让行标线、导向箭头、路面文字标记及禁止标线。

2. 交通安全设施

道路平面交叉口处行人过街宽度较大，需要结合现代有轨电车在路中设置人行安全岛，以保证行人安全。

1）站位的布置应满足城市总体规划、城市综合交通规划和城市新型交通系统规划的要求，尽可能地保证乘客的使用安全、方便、快捷；车站的布置在考虑吸引客流的同时，结合城市空间开发，因地制宜地布置，最大限度地吸引客流。

2）作为城市交通骨干的节点，车站总平面布局应满足规划要求，与周围环境相协调。合理组织人流、车流以及与其他轨道交通、公交线路、铁路车站的换乘，便于乘客疏散。车站在确定站位时，应对该地区的地下管线、工程地质、水文地质条件、地面建筑的拆迁、改造的可能性及地下建筑物之间的关系等做综合考虑。

3）地面车站应注意建筑体量、造型及材料对周围环境的影响，站台雨篷应综合考虑雨雪、遮阳以及日常的清洁维护。

4）车站建筑应按国家现行的有关规范和标准进行设计。车站防灾设计应参照并基本满足《建筑设计防火规范》《地铁设计规范》《城市快速轨道交通工程项目建设标准》《城市轨道交通技术规定》和有关规范的要求。

5）站台雨篷的装修应充分体现现代交通建筑简洁、明快的特色，体现时代气息与地方特色。

6）车站总平面设计应根据车站所在位置周围的环境条件、城市规划部门对车站布局的要求，针对地面的主要客流点，如公交站点、风景园林，因地制宜进行合理布置。

7）全线应统一考虑无障碍设计。车站设计应满足无障碍设计的有关规定与要求。每座车站至少有一处出入口考虑设置无障碍设施，并与周围城市无障碍交通系统衔接。

11.1.3　轨道工程

1. 现代有轨电车系统轨道工程设计原则

1）轨道系统设计应符合现代有轨电车车辆运营的特征，并满足环境景观和道路交通的要求，同时保证易磨损部件的可更换性。

2）轨道结构应具有足够的强度、稳定性、耐久性和一定的弹性，确保行车安全、平稳和乘客舒适度，同时具备经济合理性。

3）轨道设备选型宜结合线网及全线的情况，尽量统一形式，采用通用的零部件，利于施工，便于维修。

4）轨道结构设计应采用先进的技术、成熟的工艺，并充分考虑检测、养护、维修及抢修的要求，并满足相关专业接口技术要求。

2. 现代有轨电车系统轨道结构型式

现代有轨电车系统轨道结构型式主要分为有砟轨道和无砟轨道两种。

（1）有砟轨道　有砟轨道作为传统的轨道结构型式，在国内外已获得广泛应用。有砟轨道具有建设费用低、轨道结构弹性好、减振降噪效果明显、便于养护维修及轨道几何状态调整简单等优点；但有砟轨道存在稳定性差、养护维修工作量相对较大、道床定期清筛易污染环境及桥上道砟易粉化并影响排水性能等缺点。适用于运行速度低的非混行地段。

（2）无砟轨道　无砟轨道具有整体性强、耐久性好、塑性变形小、结构稳定性强、养护维修工作量小、使用寿命长及外形整齐美观等优点；但无砟轨道结构刚度相对较大，不利于减振降噪，且对下部基础要求高。适用于混行地段和库内整体道床地段。

3. 现代有轨电车系统轨道部件的选择

（1）钢轨

1）钢轨类型。钢轨类型的选择应保证轨道具有良好的动力响应特性和稳定性，在长期运营中保持良好的平顺性，减少养护维修工作量并延长使用寿命。可供选择的轨型有50kg/m钢轨、60kg/m 钢轨和槽型轨三种。

60kg/m 钢轨使用寿命长，可降低供电损耗，具有良好的动力响应特性和更好的稳定性，并能减少养护维修量，延长轨道使用寿命，近几年建设的北京、上海、广州、深圳、南京等城市的地铁正线均采用60kg/m 钢轨。

50kg/m 钢轨断面面积比60kg/m 钢轨小，可节约钢材 17.5%，无缝线路温度力也较小，当车辆轴重小，运量少、速度低时，其耐磨性、稳定性、运行平顺性以及使用寿命均能满足使用要求。中、低运量等级的轻轨线路，列车行车速度低，车辆编组小，计算年通过总质量小，参考国家铁路和地铁的设计要求，50kg/m 钢轨完全可以满足运营、维护要求，并可降低投资，节约能源。

槽型轨在国外现代有轨电车系统中大量使用，我国大连现代有轨电车混行道部分及绿化

部分全部使用槽型轨，沈阳浑南现代有轨电车混行地段及绿化地段全部采用槽型轨，其技术优点如下：

槽型轨可用于混行道路，与行车路面衔接紧密，改善机动车的行车条件，实现现代有轨电车与地面公共交通的路权共享；同时，槽型轨由于在钢轨上实现轮缘槽的设置，可最大限度地实现绿化和铺面面积，取得良好景观效果。

在小半径曲线地段，槽型轨能起到护轨的作用，防止车辆脱轨，减小钢轨磨耗。

2）钢轨材质。我国城市轨道交通普遍使用的钢轨材质有 U71Mn 和 U75V。U71Mn 钢轨的抗拉强度≥880MPa，焊接技术和全长淬火工艺成熟。U75V 钢轨抗拉强度≥980MPa，耐磨性好，价格比 U71Mn 轨略高，但混行地段槽型轨要长期埋在路面以下，后期更换维修较为困难。

（2）扣件

钢轨与轨枕或其他类型的轨下基础通过扣件联结在一起，以保证钢轨稳定，防止其爬行及横向位移，并减弱行车对轨枕及道床结构的冲击和振动，使轨道结构保持正常的工作状态。因此，扣件应具有足够的强度和扣压力，有适当的弹性、一定的轨距调整量、水平调整量以及良好的绝缘性和防腐性，且满足电气绝缘要求。为了方便轨道的养护维修，扣件结构应力求简单，零部件宜尽量通用化和标准化，且应与轨枕相匹配。

1）混行地段。混行地段为埋置式整体道床结构，即轨道结构被埋在路面结构层内，对扣件的强度、压力、弹性、防腐蚀和可更换等方面要求较高。

① 扣板式扣件。扣板式扣件由扣板、弹簧垫圈、螺纹道钉、铁座及缓冲垫板组成，螺纹道钉用硫黄水泥砂浆锚固在混凝土轨枕的预留孔内，由螺栓将扣板扣紧。该扣件结构简单，造价相对偏低，但其弹性不足，用于埋置式道床内时，需要对扣件铁件进行特殊的防锈蚀处理。

② WJ-5 型扣件。WJ-5 型扣件可安装小扣压力 G 型弹条，也可安装普通的 B 型弹条，该扣件的主要技术参数为：抗横向水平力能力大于 40kN（疲劳荷载）、大于 60kN（静载），轨顶标高调整量为 30mm，轨距调整量为 $-12\sim12$mm，绝缘电阻大于 108Ω。可满足不同线路阻力的要求，适用于一般整体道床和需要设置小阻力整体道床地段。该扣件在大连现代有轨电车和长春 54 路现代有轨电车等工程项目中得到应用，目前使用状况良好。

③ WJ-6 型扣件。WJ-6 型扣件使用 B 型弹条，为弹性分开式扣件，扣件的主要技术参数为：单个弹条的扣压力不小于 8kN，扣件抗横向水平力能力大于 40kN（疲劳荷载）、大于 60kN（静载），轨顶标高调整量为 $0\sim10$mm，轨距调整量为 $-12\sim12$mm。

WJ-6 型扣件利用扣件防护罩保护被埋置在沥青路面内的扣件金属件以防锈蚀，无须对扣件进行特殊的防锈蚀处理，同时保证了扣件的弹性能够充分发挥，可维修性强。适用于槽型钢轨整体道床地段，该扣件在大连现代有轨电车混行地段采用，目前使用状况良好。

④ Ⅲ型弹条扣件。现代有轨电车混行地段一般采用Ⅲ型弹条扣件，Ⅲ型弹条直径为 20mm，即使锈蚀一部分，仍能满足弹条受力要求，Ⅲ型弹条的标准弹程为 13mm，扣压力为 11kN，在正常使用的情况下，可以保证扣压力具有一定的富余量，则弹条在异常受力的情况下断裂的可能性更小，可靠性更高。同时考虑螺旋道钉长期埋在地下，一旦锈蚀就可能失效，因此扣件的横向力最好由混凝土轨枕挡肩来承担，因此有挡肩式的Ⅲ型弹条扣件更适合混行地段。

2）非混行地段

① 弹条Ⅰ型扣件。对于铺设50kg/m钢轨、碎石道床、混凝土枕的线路，一般选用弹条Ⅰ型扣件。该扣件曾为我国铁路干线行车速度小于等于120km/h的主型扣件，具有保持轨距能力强，调整轨距方便等优点。有成熟的制造、铺设和养护维修经验。扣件的主要技术参数如下：单个弹条的初始扣压力大于8kN；扣件节点静刚度为90～130kN/mm；设计弹程为9mm；轨距调整量为－4～＋8mm；水平调高量为0～10mm。长春54路现代有轨电车、以及天津地铁、大连轻轨等项目中混凝土枕碎石道床地段均采用弹条Ⅰ型扣件，运营状况良好。

② 木枕用弹条扣件。木枕用弹条扣件是由混凝土枕使用的弹性扣件移植而来的弹性分开式扣件，其性能与原扣件基本相当，具有扣压力大，保持轨距能力强的优点，对增强木枕轨道的稳定性有很好的作用。该扣件主要技术参数为：单个弹条的初始扣压力不小于8kN，轨距调整量为－8～＋12mm，水平调高量为0～10mm。

③ SYT扣件。车辆段库内整体道床地段需要根据沟宽、检查坑形式等进行轨道设计，采用SYT系列扣件。SYT系列扣件采用普通橡胶垫板，钢轨纵向移动的综合摩擦因数为0.85，采用B型弹条，弹条扣压力为9kN，钢轨接头处采用变截面夹板，适用设计速度$v\leq 10$km/h，轴重$P\leq 23$t，50kg/m钢轨线路。该系列扣件在京沪高速、京石客专、石武客专、津秦客专等客专铁路和普速铁路的库内大量采用，目前使用状况良好。

4. 现代有轨电车系统道岔区地段部件选择

（1）轨枕

1）无砟轨道地段。无砟轨道整体道床有短轨枕式整体道床、长轨枕式整体道床和无枕式整体道床三种结构型式。

① 短轨枕式整体道床。短轨枕式整体道床是将短轨枕浇筑在整体道床内。短轨枕混凝土强度等级为C50，底部外露钢筋以加强与道床混凝土的连接。道床混凝土强度等级为C40，道床内布置钢筋网，以提高道床的可靠性和整体性，同时起到排除杂散电流作用。短轨枕可在工厂预制，铺轨采用轨排法施工，施工方法简便、精度易保证且进度较快。短轨枕重量较轻，便于制造、搬运和储存，造价较长轨枕低。多在城市轨道、库内轨道结构设计中采用。

② 长轨枕式整体道床。长轨枕式整体道床是将长轨枕浇筑在整体道床内。轨枕混凝土强度等级为C50，轨枕内有预留孔，以使道床的纵向钢筋穿过，既可加强与道床的连接，又可起到排除杂散电流的作用。道床的混凝土强度等级为C40，在道床内布设结构钢筋和排流筋。长轨枕在工厂预制，铺轨用轨排法施工，进度快，精度易保证。设计、制造、施工技术成熟，多在高速铁路道岔区采用。

③ 无枕式整体道床。无枕式整体道床又称整体灌注式整体道床，轨道建筑高度小。采用自下而上的施工方法，不架设钢轨，而用施工机具将连接扣件的玻璃钢套管按设计位置预埋在道床内，上面做成承轨台，然后再安装钢轨和扣件。施工方法烦琐，进度慢，承轨台抹面精度不易保证，很难达到设计要求，一般仅在轨道建筑高度受到限界影响时使用。在空间受限、无法设置轨枕的库内检查坑地段使用。

2）有砟轨道地段。有砟轨道在铁路上已经有多年的应用，技术成熟稳定，适用于普速铁路和高速铁路，通常情况下现代有轨电车系统车辆段内（不含库内轨道）地段采用有砟轨道，一般地段推荐采用新Ⅱ型混凝土枕，半径小于300m曲线地段采用Ⅰ类油浸木枕。

（2）道岔　道岔选型应根据车辆的运行条件、线路的折返能力、便于养护维修及节约用地的原则，尽可能选用小号码标准化产品。大连现代有轨电车采用 3#槽型轨道岔，该道岔导曲线半径为 25m，转辙器采用直线尖轨，辙叉采用整铸固定型辙叉，侧向通过速度为 10km/h，道岔设一点牵引。该道岔全长现代 9. 86m，前长现代 5. 025m，后长现代 4. 835m，辙叉角现代 22°19′16″。

（3）轨道结构组成

1）混行地段无砟轨道。地面线路混行地段要求轨顶面与现状路面标高一致，为埋置式轨道结构，即轨道结构全部埋置在沥青路面结构层内，养护维修及其不方便，需采用结构稳定、外观整洁、养护维修工作量小的轨道结构型式。

正线混行地段可暂按无砟轨道设计，其结构组成如下：主要由槽型轨、弹性扣件、支承块、无砟道床和预埋连接钢筋等部分组成。结构高度：路基地段现代 500mm，桥梁地段暂按 400mm 考虑；扣件间距按 625mm 考虑，道床采用 C40 钢筋混凝土，沿线路方向每隔 6m 左右设置一处宽 20mm 的伸缩缝，伸缩缝用沥青木板填充，道床表面设排水坡。一般混行地段无砟轨道断面示意图如图 11-1 所示，既有桥梁地段无砟轨道断面示意图如图 11-2 所示，现代有轨电车混行地段无砟轨道工程实景如图 11-3 所示。

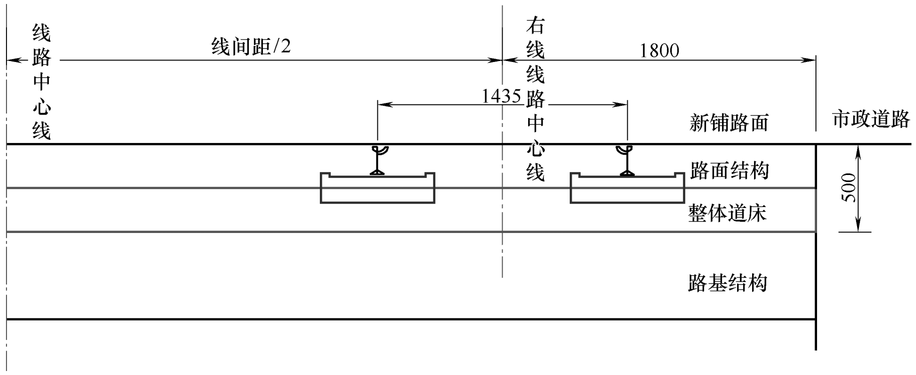


图 11-1　一般混行地段无砟轨道断面示意图

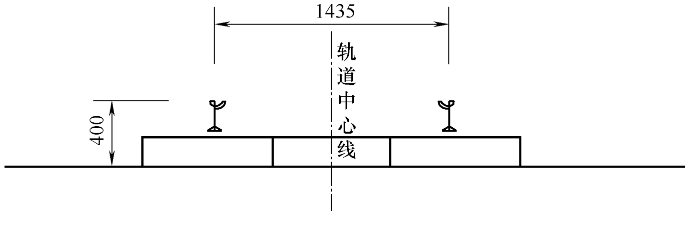


图 11-2　既有桥梁地段无砟轨道断面示意图

2）非混行地段有砟轨道。碎石道床弹性好，在一定维修质量下具有较好的轮轨接触效应，减振、降噪效果明显，能适应不良地质条件，轨道施工方便，进度快，工程造价低；地面线专有路权地段不受其他车辆和行人干扰，养护维修较为方便。

① 有砟轨道主要由 50kg/m 钢轨、新Ⅱ型混凝土枕（配套弹条Ⅰ型扣件）、新Ⅲ型混凝土桥枕（铺设护轮轨地段）或Ⅰ类油浸木枕（半径小于 300m 曲线地段采用，配套木枕弹条

图 11-3　现代有轨电车混行地段无砟轨道工程实景

扣件）及单层碎石道砟（一级碎石道砟）等部分组成，如图 11-4 所示。

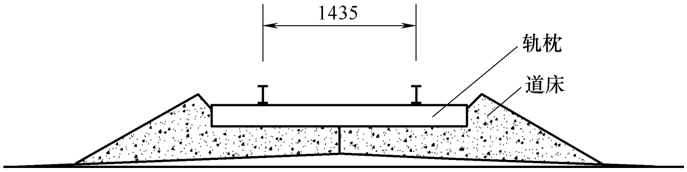


图 11-4　有砟地段横断面示意图

② 道床采用一级碎石道砟，碎石道床材料应符合 TB/T 2140—2008《铁路碎石道砟》和 TB/T 2897—1998《铁路碎石道床底砟》的规定。

③ 混凝土枕碎石道床顶面应与轨枕中部顶面平齐，木枕碎石道床顶面应低于木枕顶面 30mm。

④ 地面线碎石道床一般地段采用新Ⅱ型混凝土枕，半径小于 300m 曲线地段可采用Ⅰ类油浸木枕。

库内无砟轨道车辆段内要进行车辆相关的检修、维修及洗车等工作，可根据功能要求，采用无砟轨道；检查坑地段采用无枕式整体道床，扣件系统直接设置在检查坑基础上，主要由 50kg/m 钢轨、SYT 系列扣件、无砟道床等部分组成。非检查坑地段采用有枕式整体道床，主要由 50kg/m 钢轨、SYT 系列扣件、支承块和无砟道床等部分组成。

3）岔区无砟轨道。主要由槽型轨道岔、道岔部件及道床板等部分组成，结构高度与路基混行地段无砟轨道相同，为 500mm。道床根据道岔结构进行分块，相邻道床板间设置一处宽为 20mm 的伸缩缝，伸缩缝用沥青木板填充，道床表面设排水坡。

5. 无缝线路

无缝线路消除了钢轨接头，可以增加轨道的平顺性，降低车轮动载对钢轨和道床的冲击作用，延长各轨道部件的使用寿命，提高乘车的舒适度。

跨区间无缝线路的设计锁定轨温根据气象资料、无缝线路的允许温降和允许温升计算确定，同时还应满足相邻单元轨节间的锁定轨温差不大于 5℃，左右股锁定轨温差不大于 3℃，同一区间内单元轨节的最高与最低锁定轨温差不大于 10℃的要求。

（1）杂散电流防护措施　根据杂散电流防护要求，轨道结构主要采取以下措施：

1）将每个整体道床结构段内的纵向钢筋电气连通，钢筋连接处必须牢固焊接。在结构段两端和中间每隔 5m 用一横向钢筋与所有纵向钢筋进行焊接，并在每根钢轨下方道床结构钢筋内选择两根纵向主筋与所有横向钢筋焊接，此纵向钢筋称为排流条，使得全线道床形成主收集网，上、下行轨道排流网钢筋截面面积均不应小于 $2000mm^2$。

2）在结构段两端须引出端子（材质为扁铜），用电缆纵向连接两端子，使各结构段收集网全线贯通。

3）加强扣件的绝缘性能。采用高绝缘性能的轨距垫、轨下橡胶垫板，确保钢轨与扣件的绝缘；铁垫板下的橡胶垫板、尼龙套管应确保扣件与轨下基础的绝缘，绝缘件的绝缘阻值均应达到 108Ω。钢轨采用点支承绝缘扣件铺设；穿越道床的所有管线应采用绝缘塑料或外部涂绝缘层的金属管。

4）采用合理的轨底坡，小半径曲线钢轨经常涂油，减少钢轨磨耗，避免铁屑洒落在扣件表面，形成杂散电流通道。

5）扣件零部件设计上考虑阻止形成水膜电阻，扣件预埋套管应高于轨枕表面 4mm，橡胶垫板钉孔为不同直径，能防止水膜形成和杂质进入预埋套管。

（2）减振降噪措施　城市轨道交通减振降噪需要综合治理，相关专业共同采取措施，才能达到环保标准。轨道结构采取如下减振降噪措施。

1）尽量延长无缝线路的铺设长度，减少钢轨接头。

2）专有路权地段采用减振降噪效果良好的碎石道床和弹性扣件。

3）曲线半径小于等于 400m 地段应对钢轨涂油，减少磨耗。

4）对钢轨不平顺进行打磨，使轮轨接触良好。

5）严格控制轨道施工质量，并对轨道进行经常养护维修，保持轨道结构的良好状态。

（3）养护措施和定员　根据情况，工务维修设置数个维修工区，办公用房设在车辆段内。地面线考虑日常巡检，小维修、大修考虑外委。

1）养护措施

① 整体道床线路养护措施。整体道床在列车荷载反复冲击振动下，在运营一段时间后，扣件可能松动，有的胶垫也会错位，造成线路方向、水平不良，应及时整修。无缝线路如发生断裂，应及时补焊和调正。这些作业都应在日常维修中进行。

对整体道床还应经常观测和检查。检查项目一般有：道床混凝土是否出现裂纹、裂纹的长度、开裂度和形状及分布；整体道床是否有上凸或下沉现象，凸凹的数量和范围；排水系统是否畅通等。检查工作一般应每季度进行一次；在病害发生后，应视病害发展的程度，按每周一次或每月一次进行检查。

② 碎石道床线路养护措施。碎石道床在列车动力和自然条件影响下，不仅发生弹性变形，且产生残余变形，如线路爬行、方向不良、轨距扩大和缩小、钢轨磨耗、轨枕破损及道床脏污等。为使轨道状态保持良好，可通过线路经常维修、线路中修及线路大修来实现。

线路经常维修：主要任务是减缓线路残余变形积累。维修内容为起道、捣固、拨道、改道、方正枕木、单根更换钢轨和轨枕及清筛道床等。

线路中修：主要任务是彻底清筛枕下脏污道砟，周期一般为 4 ~ 8 年。

线路大修：主要任务是更换线路设备，如更换钢轨、轨枕及道床等，周期一般为 8 ~ 12 年。

2）定员（通常情况下）

① 正线维修定员 0.3 人/km（双线公里）。

② 车辆段、停车场定员 0.15 人/km（单线公里）。

③ 单开道岔维修定员 0.1 人/组、交叉渡线维修定员 0.5 人/组。

④ 另外，再考虑巡道工及预备率（5%）。

11.1.4 车辆段及综合基地

1. 段址选择说明及概况

（1）段址选择说明　车辆段（停车场）是保证车辆正常运行、满足线路正常运营需要而必须设置的车辆日常维护保养与检修基地。

为满足车辆日常维护保养和检修需要，车辆段需设置车辆运用、检修设施，建设车辆运用联合库、检修联合库等生产房屋及辅助生产、生活房屋，配备必要的日常维护保养及检修设备。车辆段工程投资大，建设工期长，因此车辆段的选址对项目的整体推进影响很大（涉及项目的审批、设计、试验段的建设和运营，以及全线的建设和可持续运营等）。

（2）车辆段功能定位　为合理规划城市轨道交通用地，在满足运营要求的前提下，通过资源共享优化车辆段的规模、合理设置联络线，以控制轨道交通用地是十分必要的。

车辆段及综合维修基地是轨道交通建设项目中重要的组成部分，占工程总投资的比例很大。它涉及车辆、线路、站场、工务、供电、通信、信号及建筑等系统或专业，是城市轨道交通建设的主要控制环节之一。由于投资较大，故确定合理的功能布局对降低工程投资有重要的意义。车辆段及综合维修基地不仅在建设期中对于控制投资和工期有着至关重要的作用，而且在运营期中对于降低运营成本、保证运营安全和实现高效管理也有着重要的作用。

若线网中每条线路均设置具备厂、架修能力的车辆段，则会形成车辆段设置过多，厂、架修的设施、设备利用率低；若线网中的厂、架修车辆段设置过少，则会引起联络线设置过多，也会造成土建工程增加，使运营管理不便。

2. 车辆段的功能

1）承担配属部分车辆的停放、运用、列检和一般性故障处理。

2）承担配属车辆的外部洗刷，内部清扫及消毒。

3）承担配属车辆的月检任务。

4）承担配属车辆的不落轮镟轮任务。

5）承担配属车辆的吹扫作业任务。

6）承担配属车辆的定、临修任务。

7）承担路网各线路配属车辆的厂、架修任务。

8）承担乘务员、驾驶员换班的业务工作。

9）承担正线事故列车的救援任务。

10）承担段内设备和机具维修任务。

11）承担段内的行政管理、技术管理和材料供应、后勤等工作。

3. 车辆段总平面布置

（1）总平面布置原则

1）总平面布置应以车辆段为主体，统筹考虑综合维修基地、物资总库等其他设施的工

作性质和功能要求，按照有利于生产、确保安全、方便管理、方便生活的基本原则合理布置，力求工艺顺畅、作业方便。

2）总图布置应以运用联合库和检修联合库为核心，各辅助房屋根据运用、检修作业工艺流程和生产性质按系统布置，避免相互影响，并综合考虑防火、道路、管道铺设及绿化、环保等的有关要求，力求布置整齐、紧凑、合理，为安全作业、文明生产创造条件；性质相同或相近的房屋适当集中设置。

3）根据城市轨道交通的特点，出入段线不宜少于两条线，确保列车进出段互不干扰。

4）线路的配置应满足各种生产功能的要求，力求布置顺畅，避免车辆在段内互相干扰，尽量缩短列车的空走距离。

5）现代有轨电车运用联合库线（洗车库线、镟轮库线、列检库线和月检库线）宜按贯通式布置，以提高作业效率，减少对车辆运用、检修作业的干扰。

6）车辆段变配电所、空压机等动力房屋应靠近相关的负荷中心设置。

7）车辆段的运用设备、检修设施按近期规模设计、远期规模预留，地面建筑根据工艺要求按近期、远期结合建设，对于不易改、扩建且对工艺布局有较大影响的建筑，按远期规模一次建成。

（2）车辆段与综合维修基地总平面布置　车辆的收发车和调车能力是评价车辆段布局的重要指标，与尽端式车辆段相比，环形车辆段在段内调车、车辆收发、车辆掉头等方面具有显著优势。传统地铁车辆段由于车辆转弯半径大、库前咽喉区太长等问题均无法采用环形车场设计。现代有轨电车转弯半径远小于地铁车辆，车场最小半径可达到 25m 甚至更小，大大缩短了库前咽喉区长度，设计中完全可以突破传统的思想采用环形车场布置。

以某车辆段为例，简要介绍相关情况。

1）股道布置。车辆段整体呈东西走向布局。由东到西分别为洗车线一条，镟轮线一条，列检线六条，月检线一条，预留厂、架修线一条，预留定临线两条，预留静调线一条，预留吹扫线一条，预留喷漆线一条，预留停车线两条，走行线一条，工程车线三条。

2）房屋布置。段内的房屋建筑按功能分区布置，考虑既要满足生产的使用要求，又要满足办公和生活的需要；生产区和办公、生活区的布置力求分区明确，布局合理，联系方便简捷；整个区域设置两个对外出入口，区域内有环状道路；车辆段、物资总库、综合维修基地的办公、生活用房尽量合并建成综合楼，以方便使用，并节约用地；各类房屋间距、道路宽度等满足交通运输、铺设管道、消防通道的要求，并能满足绿化要求和体育活动的用地需要。

厂区生产房屋位于车辆段及综合维修基地的西部，依次为：洗车库、镟轮库、列检库、月检库、预留检修联合库。检修联合库的东侧设有预留喷漆库，停车线东侧设有内燃调机和特种车库，它们共同形成了车辆运用、检修区，其间联系紧密，作业方便。

综合维修中心、物资总库、危险品库等生产房屋成组设置，并与生产区和办公生活区都有良好的联系。

牵引变电所等辅助生产用房根据工艺要求，临近负荷中心设置。

综合楼办公和培训中心、乘务员公寓和食堂浴室，集中布置在东侧，便于运营管理。

跟随变电所等小型工艺用房也都并入组合库之中，从而有效节约了用地。

整个段的布置，功能分区明确，能集中的建筑物尽量集中布置，有污染的作业场所布置

在段的下风侧。

3）道路布置。车辆基地内的交通系统由交通运输道路、消防道路、人行道路组成，既满足生产和交通运输的要求，又满足一旦发生火灾时消防车的通过能力。基地内主要道路为双车道，宽为7m，根据地形特点设计成舒展的曲线形与直线形相结合，贯穿整个场地，将各建筑区域连接起来。次要道路为单车道，宽为4m，将各建筑群组围合成院落，在大型生产厂房周围形成环形消防通道。在办公生活区，结合道路布置了人行广场、停车泊位和绿化用地，并且以道路为轴结合厂区现代的建筑造型，形成了厂区的景观轴线，无论是驾车还是步行，目力所及的景色随着位置的变化而变化，使人充分地感受厂区现代和人文的气息。

4）出入口设置。整个车辆段与综合维修中心设出入口与外界相通。

5）绿化布置。车辆基地虽然是交通工业建筑，但是厂区的绿化也是非常重要的组成部分，既可以美化环境，使厂区与大自然和谐统一；还能改善局部小气候，把基地建成符合环保要求的生态园区。场地内的绿化布置遵循点、线、面相结合的原则，在车辆段办公楼前的广场上和综合维修基地前布置了集中绿化；沿厂区内的主要道路两侧植树，形成绿化带；在生产区的空地上，遍植草皮及低矮灌木，整个车辆段环绕一圈乔木，使基地的绿化率达到30%，起到净化空气，隔离噪声的作用。场区其他建筑物均与生活区相协调。全厂用大量的绿化衬托出似雕塑一样的建筑组群，构成一道亮丽的风景线。

6）消防设施。车辆段与综合维修基地总平面的布置和建筑单体设计均符合防火规范的要求。

4. 综合维修中心布置

（1）功能　综合维修中心主要承担工程的供电系统、接触网、机电设备、通信、信号设备、防灾报警及环境监控系统等，以及工务和建筑的日常运用维修工作。

1）承担给水排水设备、自动控制系统等机电设备的日常维修和定期检修。

2）承担供电系统各种变电所设备以及供电线路等的日常维修和定期修理。

3）承担各种房屋建筑及其附属设施的日常维修和定期检修。

4）承担线路的日常维修和定期检修。

5）承担通信信号系统和传输线路的日常维修和定期检修。

（2）设施　综合维修中心各系统的生产、办公房屋集中设置，并考虑与车辆段办公楼、乘务员公寓及浴室、食堂、车辆段调度中心等合并设置为车辆段及综合维修基地综合楼。

综合维修中心主要由机电车间、供电车间、通号车间、建筑车间、工务车间组成，负责全线的日常维修工作。综合维修中心承担的各系统设备以及建筑物的大修委托地方有关公司承担。

1）机电车间

① 任务及工作范围。机电车间负责现代有轨电车机电系统的巡检、保养和维修工作，机电系统包括给水排水系统、车辆段机电设备等。

② 主要设计原则。机电车间只承担设备的一般性维修，机电车间所承担的设备的大修工作委托有关专业单位承担。机电设备以现场检修为主，车间检修为辅。

③ 车间组成。下设巡检组和修配组。巡检组负责现代有轨电车系统机电设备的巡视、定期保养、现场维修、更换及事故抢修等任务；修配组负责机电车间所属系统的部件修理和测试工作，并承担一些简单的配件制作工作。

2）供电车间

① 任务及工作范围。供电车间负责全线供电设施的运营管理、检修维护和事故抢修，以及材料供应等工作，保证供电系统安全可靠和不间断的供电。

② 主要设计原则：

a. 供电车间的规模按满足主要供电设备中、小修设计，设备大修由车辆段或外委有关工厂进行。

b. 车间的生产房屋按供电设备检修需要建设，并应预留远期的发展条件。

c. 按满足线路近期中小修程配备车间的检修试验设备及仪器、仪表。对部分使用率较低的设备（如机械加工设备）与基地内其他专业共用。

d. 车间的组织机构尽量简化，根据实际需要配备生产管理人员，生产定员按足线路近期维护检修需要配备。

e. 电气设备的检修、检测、试验方式以现场为主，回送车间检修为辅。

f. 接触网的维护、检修和检测以接触网检测车检测为主，人工检测为辅。

g. 变电检测设备的配备原则，根据供电车间的检修范围配备检修设备，尽量配备智能化、高效率的检测车辆和设备，提高检测水平和工作效率。

h. 供电车间其他的附属房屋、生活设施、交通工具、通用设备和岔线由综合维修中心统一考虑。

3）通信车间

① 通信。车辆段通信设备维护应采用日常维护、定期检修方式，在综合维修中心设置通信工区、光电缆工区、无线工区、通信检修所及无线检修所各 1 个，负责通信设备的维修及线路、设备的日常巡检。

② 信号。信号系统的维修管理、检修机构设在车辆段维修中心内，配置必要的设备、仪表、工具等，以满足系统设备维护、检修的需要。

4）建筑车间。建筑车间负责工程房屋建筑及其附属设施的日常维修和定期检修。

5）工务车间

① 任务及工作范围。工务车间负责对工程（含正线、折返线、车辆段内线路）轨道、道岔、路基及其附属设施进行经常性的巡视、检查、养护及一般的紧急处理工作。

② 设计原则。可采用人工养护方式，配以小型机械，负责全线的日常巡视、检查、养护和一般的紧急处理。较大规模的定期维护委托公司以外的专业部门进行（如铁路工务部门）。

正常的养护应在夜间进行，但为防备白天可能出现的紧急故障，采用三班制。

③ 车间组成。工务车间由养路工区组成，还设有工具材料室及车间办公室。

6）物资总库

① 功能。物资总库承担全线范围内运营、检修所需的各类材料、设备、备品配件、劳保用品、钢轨、道岔，以及非生产性固定资产的采购、储备、保管和发放工作；建设初期，用于各类设备和建设物资的临时存放场所。

② 主要设计原则。物资总库根据车辆段与综合维修基地总体布置的情况设于用地范围内的适当位置。

a. 物资总库设有各种库房和办公、生活用房，各种库房的设计规模应根据需要存放的

材料、配件和设备的种类、数量分析确定，不同性质的设备、材料和物品分库存放，并满足相关规范的要求。

b. 为便于材料、设备的运输和装卸，物资总库配备必要的装卸、起重运输设备。

c. 物资总库有汽车运输道路与外界公路连通。

d. 物资供应尽量社会化，物资总库内的引进设备一般按半年需要的备品、配件数量进行贮存、保管和发放；其他物资包括钢材、建筑材料、辅助材料、五金机电设备、电线电缆及各种油料等按运营和检修的一季度需要量进行贮存保管和发放。

e. 物资总库内的各种机电设备、运输车辆、起重设备等的大、中修均委托外部专业单位修理。

③ 主要设施。物资库由材料库、机电库、立体库、杂品库及办公房屋组成。此外，物资库还设有材料棚，汽车库与综合维修工区汽车库合并设在物资库办公边跨首层。库内设有自动化立体存储设备及起重、运输和装卸等主要设备。

7）培训中心

① 功能。培训中心是对现代有轨电车系统职工进行专业技术培训的单位。主要任务是对现代有轨电车系统中车辆乘务员进行培训，其他如供电、信号、给水排水、线路、行车以及控制中心等系统的职工可以委外培训。

② 主要设计原则。车辆段内教育培训中心和培训办公室在条件允许的情况下尽量与综合办公楼合建。

③ 主要设施。教育培训中心设置教室，设有电教设备、计算机培训系统等教学培训设备。

5. 车辆检修工艺及生产设施

（1）主要设计原则

1）各设施宜分区布置，并应充分考虑远期的发展条件。

2）车辆段运用、检修设施的设计应符合国家标准、规范及规程的有关规定。

3）检修、检测及试验设备的选定应优先采用国内外技术先进、成熟可靠的标准设备或非标准专用设备。

4）运营、整备等部门人员采用三班工作制，全年工作日按365天计；检修和行政、技术管理等部门人员采用一班工作制，全年工作日按250天计。

5）车辆段与综合维修基地内车辆段、综合维修基地、物资总库及培训中心的布置要求分区明确，相对独立，辅助生产设施、生活设施相应集中共用，并综合考虑防火、防灾、排水、场内道路，以及消防通道、综合管线铺设及绿化、环保等要求，并达到与周围环境相协调的效果。

6）出入段线的布置应满足出入段线能力的需要，并尽量缩短列车出入段的空走距离。

7）综合维修基地在充分研究社会化外协配合模式基础上，各种房屋设施、设备宜集中布置。物资总库的布置应便于汽车运输，应有大型设备、材料的装卸、起重、运输条件及场地，以便设备、材料的运输和发放；同时，应考虑焊轨场地。

8）车辆段与综合维修基地设计应符合城市规划要求，严格控制规模，合理用地，减少拆迁工程。工程设计应贯彻“节约能源、合理利用能源”的方针，并满足“人防”的要求。

9）车辆段与综合维修基地设计应推广采用新技术、新工艺、新材料、新设备，积极推

行车辆运用检修设备的国产化，有选择地引进国外先进技术和关键设备。

（2）车辆检修体制

1）现行车辆检修制度概述。从世界范围来看，车辆检修制度基本上分为预防性计划检修制度和技术状态检修制度两种。

预防性计划检修制度是按车辆的运行周期（走行公里）进行定期检修（厂修、架修、定修和月检等）。

车辆的检修作业方式主要有：现车修和换件修两种。现车修的优点是可以减少备用零部件的数量，但在车辆检修库修停时间较长。换件修（也称互换修）可最大限度地缩短停修时间，提高修车效率，但要求备有足够的零部件及互换件。

随着车辆制造水平的提高和运用检修经验的丰富，国内部分地铁运营单位在逐渐探索部分地利用车辆故障诊断系统进行分析、检测，并依靠其提供结果指导检修，即融入部分状态修的成分，但仍为计划检修体制；同时也在探索逐步扩大互换修的范围，以期提高车辆的利用率。

近年，香港地铁车辆检修模式逐渐引起人们的重视，该模式的最大的特点是：通过加强故障诊断系统、地面检测系统等硬件系统，以均衡修理念为指导，加强车辆日常保养及小修程质量，在地铁车辆质量有保证的前提下，取消定修修程，尽量延长车辆大修周期。

技术状态检修指根据通过检测、故障诊断等技术手段和检修经验，检测各部件的技术状态或预判可能出现的故障，有针对性地对车辆的各部件进行检修。

技术状态检修要求高素质的管理人员、维修人员，配备先进的检测、维修设备及可靠的无线传输设备，能将诊断的故障结果准确无误地向检修段的检修调度中心报告，以便及时安排人员和需要更换的配件。

2）车辆检修体制发展趋势。随着新技术、新材料的推广应用，车辆各系统和部件的寿命及无故障工作时间延长，计划预防检修体制下的检修周期也有延长趋势；随着车辆整体可靠性的提高，在具备压缩车辆维修停时以提高车辆利用率、降低车辆购置费的前提下，零部件“互换修”范围将逐步扩大；现代 VVVF 交流传动车辆技术含量日益提高，零部件修理工作量越来越小，但检查、检测的工作量逐步扩大，“月检”概念逐步演变为“双周检、季检”。

（3）车辆检修流程

1）车辆运用工艺流程（见图 11-5）。

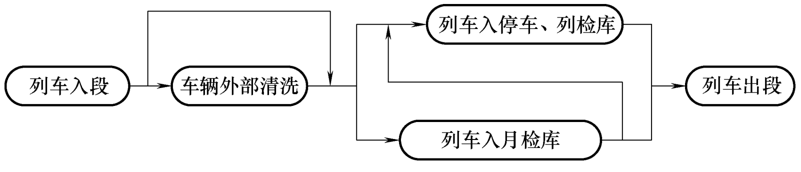


图 11-5　车辆运用工艺流程

2）车辆检修工艺流程（见图 11-6）。

（4）车辆各检修修程内容　车辆的检修修程分为厂修、架修、定修、月检和列检。

1）厂修：将车辆全部解体。检修工艺过程主要为架车、解体、更换及组装。主要对转向架、车体等进行测量与整形；对牵引电机、电器、电气线路及轮对等部件全部进行更换；

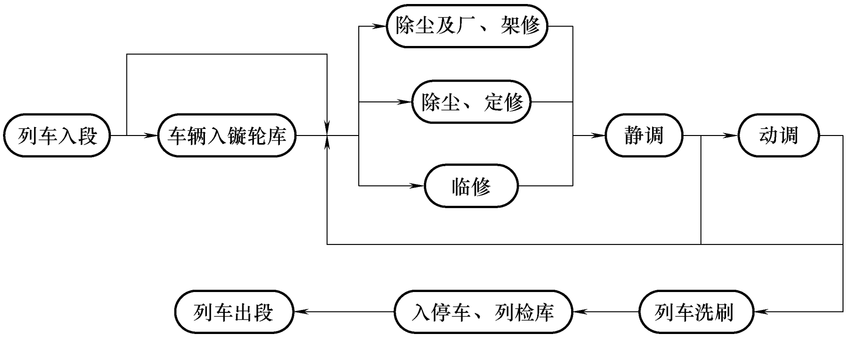


图 11-6　车辆检修作业流程图

对车辆重新进行油漆标记；厂修应以配件互换为基础；对重新组装后的车辆进行静、动态调试。

2）架修：检修工艺过程主要为架车、基本解体、检测、更换及组装。主要是对转向架、牵引电机、受电弓、制动系统、车钩缓冲装置、车门及各种电气控制装置等主要部件进行分解、检查、简单修理（互换）、调试和试验，对仪器仪表进行校验，对车体及其余部件的技术状态进行检查修理，以保证车辆处于良好的运用技术状态，架修后应进行整列车辆的静调、动调。

3）定修：一般不架车，主要是对转向架、牵引电机及主要电器进行全面细部检查，对重点部分如走行部分、受电弓、空调、电气控制系统、牵引及制动等的部件进行检查、修理、测试，需要时则对轮对的踏面进行不落轮镟削，定修后应进行整列车辆的静调、动调。

4）月检：主要进行车辆的重点部件及系统状态检查，部件清洁、润滑，更换磨耗件。

5）列检：对运用列车进行整备、清扫和隔日技术检查，调整和更换易损件，对蓄电池进行检查测试，以保证列车清洁，运行状态良好。

（5）车辆段检修、运用设施　根据检修工作量计算及承担的任务，以某车辆段及综合维修基地为例，其规模如下：

1）检修联合库

① 厂、架修库设 1 跨 2 股道。厂架修库主库间距为 6.5m-8.0m-6.5m，起落车股道设地坑式架车机，库内设 2 台 10t 的电动桥式起重机。

厂、架修库长为 162m、宽为 21m，其西侧设长为 162m、宽为 27m 的辅助车间，主要有转向架、轮轴、逆变器、电机及空调等部件检修区。辅助车间西侧设 9m 双层边跨，一层设轴承检测、蓄电池检测等检修辅助房屋，二层设办公、更衣休息房屋。

② 定、临修库位于厂、架修库东侧，设 1 跨 2 股道，其中定修一列位，临修一列位。股道间距为 5.5m-7.0m-5.5m。

定、临修库长为 84m、宽为 18m；定修线股道两侧设桥式检查坑，检查坑内深为 1.6m，两侧深为 1.0m。临修库线设壁式检查坑，检查坑深为 1.6m，两侧设地坑式架车机，库内设一台 10t/3t 电动桥式起重机。

定、临修库北侧设长为 78m、宽为 36m 的部件检修间，进行门窗座椅、钩缓、制动及

受电弓等部件检修。

③ 静调库长为 84m、宽为 9m，位于定、临修库东侧，设一股道，一个列位，静调库线设桥式检查坑，检查坑内深为 1.6m，两侧深为 1.0m，两侧设作业平台，库内设有静调电源。

④ 吹扫库长为 84m、宽为 9m，位于静调库东侧，设一股道，股道一侧设作业平台。

⑤ 吹扫库东侧设 9m 边跨，并设附件检修间、配电间及其他生产辅助房屋。

2）运用联合库。运用联合库由列检库、月检库、洗车库、不落镟轮库及联合车库等组成。

① 列检库。根据近期配属列车和在修列车数量，考虑工程的近、远期结合，车辆段列检库设六股道列检线，每股道近期可停放三辆四模块现代有轨电车，远期可停放两辆六模块现代有轨电车。列检库长为 174m，宽为 36m（两个 18m 跨），股道间 4.5m-4.65m-4.65m-4.2m-4.2m-4.65m-4.65m-4.5m；列检库每列位均设柱式检查坑，检查坑内深为 1.6m，两侧深为 1.0m。

② 月检库。根据近期月检任务量及远期发展，月检库一股道设两列位。股道间距 4.5m-4.5m。

月检库长为 174m，宽为 9m；月检库每列位均设柱式检查坑，检查坑内深为 1.6m，两侧深为 1.0m，两侧设作业平台。月检库的东侧设 7.5m 二层边跨，与列检库共用，设车控室、司机派班室、列检室、更衣室及休息室、保卫值班、更衣、车辆状态检测间、备品间等生产辅助车间。

③ 洗车库。为减少对周围环境的污染及美化市容，必须保持车辆外部清洁，列车应定期进行外皮洗刷。洗车库长为 60m、宽为 9m，并设有长为 60m、宽为 6m 的边跨，内设控制室、水泵间、办公室等辅助用房。

④ 不落镟轮库。为了提高行车质量，减少车轮产生不良振动和噪声，尤其是运用现代有轨电车在没有达到定检周期时，个别车辆因出现车轮轮缘偏磨、踏面擦伤等而引起车轮产生的不良现象，能在列车不解体的情况下得到及时处理，设镟轮库 1 座。镟轮库长为 60m、宽为 12m。

⑤ 联合车库。内燃机车是车辆检修调车作业及事故救援的必备设备，本线内燃调机库和特种车库组成联合车库，负责内燃调机、轨道车、接触网检测车等的停放及日常保养、维修。联合车库由主库及辅助边跨组成，主库长为 60m、宽为 21m，内设 3 股道，股道间距均为 4.5m-6m-6m-4.5m，其中 2 股道设宽为 1.2m、深为 1.4m 检查坑。边跨长为 60m、宽为 6m，内设保卫值班、救援值班室、救援室、维修间、备品库等辅助车间，用于内燃调机与特种车的停放及日常保养、维修。

⑥ 其他设施。为满足车辆检修及生产需要，段内还设有易燃品库及办公综合楼、食堂、浴室、污水处理站等生产及生活辅助设施。

6. 站场线路

（1）主要设计原则

1）车辆段、停车场的布置，应因地制宜，充分利用现状地形，减少工程量，使各单元体的布置既有独立性，又能相互联系，形成整体格局。

2）线路布置应能满足现代有轨电车运用、检修的需要，符合生产工艺流程的要求。

3）线路布置力求紧凑合理，节约用地，并兼顾其他专业的用地要求，为总平面设计留

有余地。

4）轨道工程应结合实际情况和功能要求，合理选择轨道结构型式。

（2）主要技术标准

1）线路配置、道岔配列应满足功能和车辆检修工艺要求，并应做到安全、方便、经济合理。

2）出入段线最小平面曲线半径不小于50m，困难条件不小于25m。

3）两相邻道岔间的夹直线长度不小于4.5m。

4）车场线道岔基本轨端部与曲线端部的距离（不含轨距递减段）不宜小于3m。

5）车场线最小曲线半径一般情况为25m；场内线路宜平坡设计，困难条件下库外线可设在坡度不大于5‰的坡道上。

6）出入段线采用50kg/m 钢轨 6 号道岔，车场线采用50kg/m 钢轨 3 号道岔。

7）出入段线采用与正线标准一致的无砟轨道，车场线（不含库内轨道）采用有砟轨道，库内采用无砟轨道。

7. 空调通风与防烟设计

（1）空调设计

1）空调设计范围。①在信号机械室（含电源室）、通信机械室设置机房专用空调；②所有办公房间、宿舍、会议室及值班室等房间，以及其他人员经常停留的场所均设置舒适性空调；③牵引变电所的开关柜室、控制室设置空调。

2）空调设计标准。①综合办公楼、培训中心采用变制冷剂流量多联机（热泵）空调系统，并设置新风系统，室外机均设置于建筑屋顶；②宿舍、乘务员公寓、检修组合库边跨办公管理房间、运用库边跨办公管理房间、门卫、综合维修中心办公管理房间及其他人员经常停留的场所均设置冷暖型分体空调；③牵引变电所的开关柜室设置单冷分体空调，控制室设置冷暖型分体空调。

（2）通风设计

1）生产过程产生有害气体、粉尘、余热的车间，根据其性质、特点、数量及危害程度设置全面通风或局部通风系统。

2）检修组合库、运用库、物资总库及工程车库设置机械通风。检修组合库及运用库根据实际情况，可在局部设置壁式电风扇。

3）牵引变电所的变压器室、电缆夹层设置机械通风。地下电缆夹层设置补风系统。

4）喷漆库、易燃品库设置防爆机械排风系统，并设置事故通风系统。

5）生活污水处理间、消防泵房的设备间设置机械通风。

6）厨房根据具体规模设置局部机械排风设施、全面机械通风设施。当自然补风满足不了要求时，应设置机械补风系统（操作间保持负压），并应设置油烟净化器。

7）公共卫生间设置机械排风系统。宿舍及乘务员公寓内的卫生间设置机械排风系统。

8）其他有工艺要求通风的房间设置通风系统。

（3）防排烟设计

1）检修组合库、运用库、物资总库等高大厂房仓库应优先采用自然排烟方式，当自然排烟不能满足要求时，设置机械排烟系统。

2）地下隧道段按照 GB 50016—2014《建筑设计防火规范》的 12.1.2 条规定执行。

3）其他按照 GB 50016—2014《建筑设计防火规范》进行设计，在达到设置标准的建筑物内设置防排烟系统。在建筑内长度超过 20m 的内走道设置机械排烟。

4）排烟风机前端设置 280℃排烟防火阀，与排烟风机连锁。消防高温排烟风机均能在烟气温度小于或等于 280℃的条件下连续工作 30min。排烟风机与排烟管道上不得设有软接管。

5）空调和通风系统均按防火分区划分，穿越防火分区处设防火阀。所有穿越空调机房、通风机房每层水平干管和主立管的交接处，水平干管上均设防火阀。防火阀两侧各 2 米范围内的风管及其绝热材料应采用不燃材料。

6）排烟风管采用镀锌钢板，最小壁厚应满足相关的要求。

8. 节能及环保

（1）节约能源措施

1）所有空调设备均要求按 DB 11/687—2015《公共建筑节能设计标准》执行。

2）空调系统管道保温层厚度按现行国家标准中经济厚度的计算公式确定。

3）检修组合库与运用库采用自然通风与机械通风相结合的方式进行送排风，平时尽量采用屋顶天窗和墙壁侧窗通风，通过合理的控制系统，达到节能目的。

（2）环境保护措施

1）空调、通风机房均应有隔声吸音措施。

2）所有设备均选择低噪声型。

3）所有空调风道根据实际情况设置消声装置，减少噪声。

4）空调及新风室外机等底部均设减振措施，落地安装的空调箱下设减振垫，吊装的风机和新风机组均采用减振吊钩，以减少固体传声。

5）对生产中产生的有害气体进行除尘、过滤、滤毒等处理，达标后再排入大气，达到不污染环境的目的。

9. 给水排水与消防

给水排水设计必须满足生产、生活和消防用水对水量、水压和水质的要求，贯彻节约用水、综合利用的设计原则，选用技术成熟、经济合理的节能设备。

（1）系统设计原则

1）给水设计贯彻节约用水、综合利用的设计原则，并满足生产、生活和消防用水对水量、水压和水质的要求。

2）给水水源优先采用城市自来水，当无城市自来水时，以联合供水和自建水源为主。

3）当自来水水压、水量满足生产和生活用水要求时，采用直供方式，否则采用无负压设备二次加压。

4）排水系统应根据污水的性质、污染程度，采用分流制，结合室外排水体系和城市的排水规划对污水分类集中处理，或直接排入市政排水管网，或经处理达到国家及地方现行有关排放标准后就近排放。

5）水消防设计按同一时间发生一处火灾考虑。消火栓系统火灾延续时间按 2h、自动喷水灭火系统火灾延续时间按 1h 计算。

6）给水排水设备的选型采用技术先进、安全可靠、经济合理并经过实践运营检验的国产化产品。

（2）主要排水构筑物和设备

1）污水泵井：用于污水提升。

2）机械格栅：在污水泵井进水渠上安装机械格栅。

3）隔油沉淀池：兼具调节、沉淀及隔油等功能，池内集油器抽吸浮油。

4）自动控制：排水设备按自动化管理设计。污水泵井设超声波液位控制器，扬水管设压力表。潜污泵设就地手动控制、就地液位自动控制。超声波液位控制器提供就地高报警水位、开泵水位、停泵水位及低报警水位显示，并实现就地自动控制泵的起、停。

5）排水管道及附属构筑物：当室外重力排水管道管径 $d \leqslant 600$mm 时，采用 HDPE 双壁波纹管，弹性密封圈承插连接；当 $d > 600$mm 时，采用钢筋混凝土管，承插接口；压力排水管道采用给水 PE 管，电热熔焊接接口。雨水管道采用Ⅱ级钢筋混凝土管。塑料管采用 180°砂石基础，钢筋混凝土管采用180°混凝土基础。各建筑室内重力排水管采用阻燃型 UPVC 加筋塑料排水管，加强防腐，其中浴室排水管选用耐热型。当排水管穿越线路时，两端设排水检查井，以便于检修管道。当所有排水检查井、跌水井、给水阀门井、水表井及洒水栓井等位于车行道下时，应采用重型井盖。所有室外构筑物，如化粪池、隔油池等应设置在绿地内，以便于检修操作。

（3）消防方式和设施　由于消防用水量大于生产生活用水，故消防给水系统与生产、生活给水系统分开设置，单独建消防水池和消防水泵房，消防水池贮存消防用水量。消火栓管道和自动喷淋管道分别在联合检修库内形成环状消防管网。在消防泵房室外设置消防水池的吸水口，以方便消防车灭火时采集水源，并在市政给水引入管上设置两个消火栓，方便消防车取水用。消防泵的控制为集中、就地、压力和利用消火栓按钮控制。

对室外低压消防，设置室外消火栓及在库室外适当位置设消防水泵结合器。根据建筑体积，室外消火栓最大流量为 30L/s，火灾延续时间为两小时。室外消防给水主管网布置成环状，局部布置成枝状。室外地上式消火栓沿消防通道和建筑物四周均匀布设，设置间距不大于 120m。

车辆段综合楼及联合检修库等生产建筑内同时设置室内消火栓系统和自动喷水灭火系统。室内消防按一处着火两股射流设计，室内消火栓消防流量最大为 15L/s，采用单口单阀消火栓，间距按计算确定，但不得大于 30m。自动喷水灭火系统采用稳高压湿式自动喷淋系统，消防流量约 30L/s，采用闭式喷头。

消防泵房内设室内消火栓系统加压泵和喷淋系统加压泵，消防泵控制柜对消防加压泵进行定期自动巡检，巡检结果反馈给控制中心。

控制中心等不能用水灭火的重要设备用房考虑设置气体灭火系统来保护。

在综合楼的公共区域及设备房间内设置手提式灭火器，采用磷酸铵盐干粉灭火器，以迅速扑灭各类火灾。

10. 节约能源措施

（1）给水系统

1）合理确定加压泵站位置，尽量降低水泵扬程，节约能耗。

2）选用节能型扬水机械设备；设置给水自动控制系统，保证设备安全、高效运行，自动控制给水设备的起、停，提高管理水平，有效减少定员。

3）合理选择给水管材，减少管道沿程水头损失，降低水泵扬程。

4）合理布置给水管网，就近接管。

5）各用户设置水量计量设备，节约用水。

（2）排水系统

1）合理布局排水系统，尽量利用地形坡度铺设排水管路，减少污水抽升次数。

2）选用合理的污水处理工艺和排放方案，减少运营费。

3）设置排水自动控制系统，保证设备安全、高效运行，自动控制排水设备的起、停，确保设备正常运转和提高管理水平，有效减少定员。

4）需由市政供水主管部门明确自来水、污水接管点位置、管径等参数，以便稳定给水排水方案。

11.1.5　道路工程与交通组织

结合现代有轨电车的布线、布站方式，介绍沿线道路改造的主要设计原则、交叉口改造方案及施工期间交通组织。

1. 道路工程

（1）主要设计原则　现代有轨电车通常在地面道路上运行，在道路设计过程中应兼顾公共交通的优先通行及其他社会车辆的通行要求，合理分配道路资源。

在交通可行的前提下充分利用原有道路，尽量减少道路改造工程量，节省投资。通过道路建设和交通管理手段并举，实现道路通行安全及通行效益的最大化。

现代有轨电车沿线道路改造的主要设计原则如下：

1）在路段上采用现代有轨电车专有路权，确保交通安全，保障现代有轨电车优先通行权；通过采用有效隔离手段，减少现代有轨电车与其他交通间的干扰。

2）现代有轨电车在现有道路上布设时，尽可能减少对道路资源的侵占，节省用地，减少沿线建筑物拆迁。

3）现代有轨电车沿线车站站台的布设应充分考虑对道路交通的影响，以及乘客换乘的安全、便捷。

4）在交叉口，根据相交道路的形式，采用现代有轨电车交叉口信号优先控制，减少现代有轨电车通过交叉口的延误，提高运营效率。

5）遵循“安全第一”的原则，在现代有轨电车和行人或社会车辆可能形成冲突点的位置，均设置必要的安全措施。

（2）现代有轨电车的布设　目前，现代有轨电车在地面道路上的布设可分为路中布线及路侧布线两大类，路中布线指现代有轨电车利用道路中央分隔带布线，路侧布线指现代有轨电车利用红线外侧用地布线。

（3）交叉口交通组织设计

1）十字交叉口。现代有轨电车穿越十字交叉口，沿中央布置将占用既有交叉路口的左转专用车道。另外，为提高现代有轨电车的通行效率，尽量考虑实现现代有轨电车信号优先，将对既有交叉路口的信号控制造成一定影响，而现代有轨电车沿中央布置也将对沿线十字交叉口通行能力及信号控制造成一定影响。现代有轨电车沿线的路段掉头车道需调整至上下行的灯控交叉口，会对交叉口的整体通行能力造成一定影响。

针对交叉路口交通组织问题，采用的信号优先的方式，提高车辆在交叉口的通行效率；

同时，根据现代有轨电车线路的布置形式，对线路在道路一侧和两侧的情况，采用同方向设置左右转信号灯来解决相位交通问题；对线路在道路中央的情况，采取增设左转专用相位的方式来解决交叉路口现代有轨电车运行速度问题，从而保证人们的正常出行，尽可能减少乘车时间。

2）T 形交叉口。若现代有轨电车采用道路中央布置形式，对于沿线采取了禁左措施的 T 形交叉口，即只允许右进右出，现代有轨电车线路铺设对禁左的 T 形交叉口不造成影响；但是对于可以左转的 T 形交叉口，需采取调整信号灯相位及周期或采取封闭、禁左、绕行等措施，现代有轨电车的道路中央布置对这些 T 形交叉口的通行能力和服务水平有一定的影响。

对于沿线两侧出入口交通，可采取出入口只准右进右出，左转车辆可在邻近交叉口掉头等措施解决。

2. 施工期间交通组织

（1）总体概述　为了尽量减少施工期间对沿线道路交通的影响，避免产生施工的安全隐患，应进行适当的交通管制，重点在于路网分流交通组织及节点分流交通组织。

（2）道路分流交通组织方案　道路分流交通组织方案的目的是通过项目周边较为成熟的道路分流施工位置处的交通，从而减轻施工期间项目位置路段的交通压力，消除瓶颈；另外也为了减小施工期间的安全隐患，为安全、辅助施工措施（如地表垂直注浆）等提供必要的场地，加快施工进度。

1）总体思路。在主要交叉节点设交通临时指引标志，指引中长距离过往车辆绕行附近主干路，避开施工地点；在区间位置的居民出行尽量考虑绕行周边的次干路、社区支路，分流交通。

2）路网临时交通组织。路网临时交通组织主要是引导过境车辆至周边路网绕行，从而避免大量的长距离通行车辆进入施工区域。因此，必须在重要路段设置临时指引系统。

（3）路段施工期间交通组织　施工期间的交通组织设计应遵循以下原则：

1）提前做好保通工程，先进行沿线两侧辅道或临时便道的修筑；确保主体工程施工期间，中心城区不少于双向 2 车道、其他片区不小于双向 4 车道可通行。

2）在主要路段做好施工辅助指路、警告、指示标志，引道车流通行。

3）设置临时调头区组织车辆转向。

4）重要交通节点保证主要交通流方向交通的通达性。

5）交叉路桥下通行净空控制在不小于 4.5m。

路段具体方案分为路幅改造、路幅拓宽两类。

1）路幅改造类。路幅改造类的路段基本上以改造边绿化带及辅道（非机动车道）为主，改造后现状车行道需要进行道路外侧调整。结合现状道路的横断面布置，第一阶段施工需要将调整部分的行车道及绿化带予以改造，因此需要将绿化带及人行道之间的区域予以围挡实施。第二阶段，将现有的车行道调整为改造后的外侧车行道，实现双向六车道的通行能力，对现代有轨电车主体部分予以围挡施工。第三阶段，拆除主体实施部分的围挡，恢复标线及交通设施，完成项目实施。

2）路幅拓宽类。对路幅改造类的路段，若现状的路幅宽度不能满足同时设置现代有轨电车及机动车道，或者由于需要结合远期规划横断面进行布置，就需要将现状道路红线进行

拓宽，并对整个路幅予以拓宽改造。第一阶段施工需要将拓宽部分的行车道及绿化带予以改造，因此需要将车行道及拓宽红线之间的区域予以围挡实施。第二阶段，将现有的车行道调整为改造后的车行道，对现代有轨电车主体部分予以围挡施工。第三阶段，拆除主体实施部分的围挡，恢复标线及交通设施，完成项目实施。

（4）节点施工交通组织方案　节点施工交通组织的目的主要是为了配合施工过程中的某一工序进行临时性围挡引导，以降低通道开挖过程中的安全隐患，也为施工期间不可预见突发事件提供必要的应急预案。由于现代有轨电车施工期间可能涉及的路段长度较长，可能交叉较多，因此仅对典型的交叉口交通组织予以分析。

1）下穿交叉口施工组织。交叉口现代有轨电车采用下穿的交通组织形式，并且现代有轨电车站台均设置有道路交叉口下方，在站台及下穿段实施期间，需将本交叉口各方向直行车辆予以限制，仅保留右转车辆可通行。

2）平面交叉口施工组织。现代有轨电车采用平面交叉的交叉口施工期间，交通组织形式基本上与下穿段施工的方式及阶段一致，由于平面交叉的交叉口无下穿暗埋段的施工，施工期间交叉口的现状基础设施保留。

（5）区域分流交通组织方案　施工期间对现状已形成的交通习惯将造成较大的影响，因此需要提前做好施工区域的居民沟通协调工作。让处在施工区间位置的居民出行尽量考虑绕行周边的次干路、社区支路以分流交通。

11.2　机电设备工程

本节对建设方案研究中的机电设备工程部分进行相关内容的分析，包含供电工程、通信工程、信号工程和其他机电系统等方面。

11.2.1　供电工程

1. 供电系统的构成

现代有轨电车工程供电系统包括外部电源进线、中压供电网络、牵引供电系统、动力照明供电系统、电力监控系统及杂散电流防护系统。牵引供电系统包括牵引变电所与牵引网；动力照明供电系统包括降压变电所与动力照明配电系统。

2. 供电系统的功能

1）接受并分配电能功能。通过外部电源进线将地方电源直接供给工程变电所，保证现代有轨电车的牵引及动力照明用电。

2）降压整流及传输直流电能的功能。接受外部电源进线传输来的交流电能，在牵引变电所内经降压整流后，向沿线的牵引网系统供电；现代有轨电车沿线安装的牵引网系统，接受由牵引变电所降压整流后的直流电能，同时，不间断地供给电能，以保证现代有轨电车安全、可靠、快速地运行。

3）降压变配电功能。降压变电所将进线电源降压后变成低压 380/220V 电源，再经低压配电系统供给车站、区间的动力照明设备使用，以保证车站设备和照明系统的正常运行。

4）对供电设备实施电力监控的功能。在电力调度中心，通过电力监控系统的中心控制站、通道、被控站，对整个现代有轨电车供电系统的牵引降压混合变电所、牵引网等供电设

施的运行状态进行实时监视、控制、数据采集及处理，实现供电设备的自动化调度管理，保证设备的正常运行。

5）对杂散电流进行防护的功能。通过对现代有轨电车回流系统采取必要的绝缘、设置杂散电流收集网及建立杂散电流监测系统等措施，保护现代有轨电车结构和沿线金属管线，使之不受杂散电流的腐蚀。

3. 主要设计原则

1）供电系统规模及主要设施的数量和位置按满足远期运行高峰时段的用电负荷要求设计。

2）供电系统采用电源开闭所形式供电，中压环网设置联络开关。

3）牵引变电所的分布除了保证牵引供电的可靠性外，还应结合车辆功率、行车组织及线路条件综合考虑，充分利用好变电所的供电能力，以避免投资的浪费。

4）牵引变电所的分布和容量按远期最终运量确定；牵引变电所保证在发生下列任一故障时，能维持正常运行：①一路进线电源故障；②相邻任一侧牵引变电所解列（不考虑相邻两侧变电所同时解列）。

5）各类变电所的设置地点结合站型、站位及车站周边环境统筹考虑，既要尽量减少土建投资，又要便于电缆敷设和设备运输，为运营维护创造良好条件。

6）继电保护装置设计满足可靠性、选择性、速动性和灵活性要求。结合既有工程的经验教训，合理配置保护装置，保证系统的安全运行。供电系统各级保护应相互协调配合。

7）根据车站规模及形式考虑是否设置降压变电所，车辆段及停车场内根据负荷的分布和供电的合理性、经济性考虑设置降压变电所或跟随式降压变电所（有条件时应尽量与牵引变电所合建）。

8）为保证乘客的安全，每个车站设一套轨道电位限制装置。

9）杂散电流防护设计应按照“以堵为主，以排为辅，堵排结合，加强监测”的原则设计。

10）杂散电流防护与接地系统应根据各车站的具体结构型式，采用合理的设计方案，以满足杂散电流防护与接地标准。当杂散电流防护工程与安全接地发生矛盾时，优先考虑安全接地。

11）设备选型立足于国产化，在保证可靠的前提下，设备材料选用节能低耗产品并考虑将来技术升级及扩展可能性；在国产设备达不到所要求的技术标准时，考虑引进。

4. 外部电源供电方案

（1）各种外部电源供电方式优缺点比较　目前，国内外城市电网对轨道交通的供电方式一般可归纳为三种类型：集中供电方式、分散供电方式和混合供电方式。外部电源供电方案的选择应结合城市电网、电源路径及电网规划等多方面因素综合考虑。

1）集中供电方式。由专门设置的主变电所集中为牵引变电所及降压变电所供电的外部电源供电方式，称为集中供电方式。

优点：

① 主变电所数量少，接入的地方电网电压等级高，线路故障率低，负荷间的相互影响小，因此主变电所集中供电方式相对有较高的供电可靠性。

② 与城市电网间仅通过主变电所接口，产权划分清楚，运营维护相对独立，调度管理方便，排查故障比较迅速。

③ 可以实现网络资源共享。主变电所位置尽量设置在轨道交通网络的交叉处，用一座变电所为两条轨道交通线路供电，形成区域性的资源共享。

④ 与电力系统之间的相互影响小，系统谐波对电网的影响小，与城市其他负荷间的相互影响也小。

缺点：

① 主变电所取电比较困难，电源线路一般较长，投资大。电缆线路在市区内敷设，路径选择与施工也比较困难。

② 主变电所规模较大，结构复杂，占地面积大，投资大，选址比较困难。

③ 由于每个主变电所供电范围大，为了尽量减少中压供电网络的电压损失，保证牵引变电所和降压变电所的进线电压水平，中压环网电缆线路与变电所内的设备需采用较高的电压等级，相应投资增加。

2）分散供电方式。由分散引入的城市中压电源直接（或通过电源开闭所间接）为牵引变电所及降压变电所供电的外部电源供电方式，称为分散供电方式。

优点：

① 由于接入城市电网的电压等级低，沿线电源点较多，取得电源较方便。

② 中压供电网络与变电所内的设备采用的电压等级低，投资相对小。

③ 不需要建设主变电所，快轨供电系统自身的投资可进一步降低。

缺点：

① 与城市电网接口多，调度复杂，管理工作量大，排除故障时操作程序较复杂。

② 由于接入城市电网的电压等级低，电网的波动较大，对牵引供电有一定影响。

③ 两座相邻的牵引变电所，进线电压值较难接近，使得两所整流机组出力不均，可能使某个变电所的整流机组频繁过负荷，影响机组寿命。

3）混合供电方式。根据城市电网电源点的分布情况，在轨道交通沿线一些区段采用集中供电方式，一些区段采用分散供电方式。这种供电方式可以根据城市电网电源点的分布，灵活地采用部分集中、部分分散的供电方式，有可能使外部电源工程的投资最小。但其最大的缺点是运营管理和设备选型极为不便，对整个城市轨道交通供电系统的统一规划也不利，目前国内外新建轨道交通项目基本不采用这种方式。

11.2.2　通信工程

1. 通信系统设计原则

1）满足工程行车、运营的通信需求，并满足其他相关系统的通信要求，具有高可靠性。

2）所采用技术具有先进性、可靠性、适用性和可实施性，性价比优良。

3）具有远期扩容及联网功能，满足轨道交通网发展的需求。

2. 系统构成及功能

通信系统由传输系统与电话系统、通信线路、无线通信系统、电视监视系统、广播系统、时钟系统、门禁及周界入侵报警系统、办公自动化系统、通信电源与防雷及接地系统

组成。

（1）传输系统与电话系统

1）概述。为满足现代有轨电车语音业务、时钟、电力监控系统（SCADA）信息及变电所内视频监视信息的传输需要，需设置传输系统。通信传输系统为语音业务、时钟、SCADA 及电视监视系统提供可靠、灵活的传输通道，以保证迅速、准确、可靠地传送现代有轨电车运营所需的各种信息。

电话系统主要用于调度部门、管理部门、运营部门及维修部门等工作人员进行内部及外部联系。

2）技术分析。

① 传输系统：根据当前通信技术发展及国内外轨道交通设备运用现状，传输系统主要有基于 SDH（光同步数字传输网）的 MSTP（多业务传输平台）、基于内嵌 RPR（弹性分组环）的 MSTP、千兆以太网和 PTN（分组传送网）传输技术。

a. 基于 SDH 的 MSTP。MSTP 即多业务传输平台技术，是为建立承载 TDM（时分复用模式）电路、分组数据和信元的统一平台而发展的，MSTP 技术的基本思路是将多种不同业务通过 VC 级联等方式映射进不同的 SDH 时隙，而 SDH 设备与二层、三层分组设备在物理上集成为一个实体，即将传送节点与各种业务节点融合在一起，构成业务层和传送层一体化的下一代 SDH 节点。

随着城域网技术的发展、成熟及设备的大量应用，基于 SDH 技术的多业务传输平台（MSTP）方案已在轨道交通建设中得到广泛应用，线路速率可达到 2.5～10Gbit/s。

b. 基于内嵌 RPR 的 MSTP。RPR（IEEE 802.17 标准）是一种新兴的 MAC（媒体访问控制）层协议，是为优化在环型拓扑上传输数据报而提出的一种全新的 IP 包承载技术。它具有双环结构、空间复用机制、灵活的业务带宽颗粒、带宽动态共享和分配、统计复用、各节点公平接入、支持业务级别、自动识别网络拓扑结构及基于源路由的保护倒换等主要特点。基于内嵌 RPR 的 MSTP 方案，实际上是在 MSTP 环网带宽上划分出独立的通道来支持 RPR 技术。

c. 千兆以太网：千兆以太网（802.3z）是被广泛使用的计算机网络标准，随着数据业务的增加，语音、视频等业务的 IP 化，千兆以太网的应用范围不断增加，由计算机局域网逐步拓展到工业控制、电信接入网、城域网等领域。随着 802.1p（流量优先权控制）、802.1q（VLAN 标准）802.1s（多生成树协议）及 802.1w（快速生成树协议）等技术的应用，千兆以太网已经发展成为一种可管理、高可靠性、满足多种应用需要的技术，在性能指标上能够满足城市轨道交通数据业务传输的要求。

d. PTN（分组传送网）。PTN 是一种光传送分组网络架构和技术，它在 IP 业务和底层光传输媒质之间设置了一个层面，针对分组业务流量的突发性和统计复用传送的要求而设计，以分组业务为核心并支持多业务传输。PTN 继承了 SDH/MSTP 良好的组网、保护和可运维能力，又利用 IP 化的内核提供了完善的弹性带宽分配、统计复用和差异化服务能力，能为以太网、TDM 和 ATM（异步传输模式）等业务提供丰富的客户侧接口，非常适合于高等级、小颗粒业务的灵活接入、汇聚收敛和统计复用。

② 电话系统：系统的构建有三种方案比较可行，即设置数字程控交换机、利用公网交换机的虚拟网功能组建广域虚拟交换机和利用软交换技术构建电话网络。

a. 设置数字程控交换机。该方案采用设置数字程控交换机的方式，满足工程电话业务的需求。该方案优点是技术成熟可靠、功能强大、应用广泛，且现代有轨电车系统对所用程控交换机拥有完全的控制权，独立使用该程控交换机的全部功能和容量。

b. 利用公网交换机组建虚拟专用网（广域虚拟交换机）。

广域虚拟交换机又称 VPN（虚拟专用网），是利用公用电话网的资源向某些机关、企业提供一个逻辑上的专用网。

其最显著的特点是利用公网资源实现专网功能，使用户不必投资购买 PBX 设备，而由电信运营商在公网上实现虚拟（软件方法）PBX 功能，可以节省前期一次性投资，并且减少运营维护人员及相关运营维护。但采用该方案，现代有轨电车系统缺乏对其公务电话系统的控制权，使用不够灵活；多点引入公网，故障点多，不能保证电话系统的可靠性；且通话费、月租费高，从长远看不够经济。

c. 软交换。VoIP（Voice over IP）是以 IP 分组交换网络为传输平台，对模拟的语音信号进行压缩、打包等一系列的特殊处理，使之可以采用无连接的 UDP 协议进行传输的技术。

VoIP 的主要优势在于它提供了一种利用 IP 网络解决语音通信的手段，而 IP 统一网络恰恰是通信网络的发展趋势。VoIP 与传统语音系统相比更加灵活，能提供更多的终端种类（模拟语音电话机、PC、IP 电话机），还能够为用户提供新的基于多媒体的增值服务。VoIP 的主要劣势在于其话音质量与传统语音系统相比还是稍差，缺乏端对端的 QoS（服务质量）保证。

3）组网方案。结合传输系统、电话系统方案比选情况，传输系统与电话系统组网方案有如下选择。

方案一：基于 SDH 的 MSTP + 传输接入单元。本方案在车辆段、各牵引变电所均设置一套基于 SDH 的 MSTP 设备及一套传输接入单元，电视监视系统、SCADA 均通过 MSTP 提供的以太网端口进行数据传输；各牵引变电所内的电话分机通过传输接入单元接入 MSTP 设备，通过 2M 通道接入车辆段内的程控交换机。

方案二：千兆以太网 + 语音接入网关。本方案在车辆段、各牵引变电所均设置一套工业千兆以太网交换机，各牵引变电所均设置一套语音接入网关，电视监视系统、SCADA 均通过以太网端口直接传输；各牵引变电所内的电话分机通过语音接入网关，将语音数据转换为以太网数据，再通过以太网接口进行传输。

方案一以 SDH 技术为基础，继承 SDH 优点，利用较少的网络带宽实现多点接入和带宽共享，根据具体业务的需求动态灵活分配，提供有效流量控制，实现 SDH、ATM 和 IP 多种业务的混合传输。缺点是 MSTP 对以太网数据业务的传输效率较低。

方案二以 IP 技术为基础，专为数据业务制定，能很好地满足 IP 业务的需求，能有效解决突发数据业务的传输需求。缺点是故障倒换时间较长，且相对于基于 SDH 的 MSTP + 传输接入单元方案而言，投资较高。

3. 通信线路

（1）概述　通信线路所需光纤芯数为传输系统主用两芯备用两芯，沿线路敷设的光缆属于一次性投资的资源，应考虑适当储备，为将来城域网络以及其他业务的发展预留条件。近年来，光缆资源在通信系统中的重要性越来越明显，而且，光纤资源的出租、出售可为业主带来较大的投资收益。

（2）敷设方式的选择　线路全线均设置在市内主干公路上，光缆敷设可采用接触网杆

架设及地下管道敷设两种方式。

1）接触网杆架设。将光缆架设在沿线的接触网杆上，优点是投资较少，省去了沿线敷设管道的投资；但由于光缆需要架空敷设，线缆安全性较差，会对市容造成一定影响。

2）地下管道敷设。需在线路旁埋设管道，将光缆敷设在新埋设的管道内。此方案的优点是光缆敷设在地下管道内，不会对市容造成影响，管线安全性较好，有利于后期增设光电缆，且沿线管道可用于出租；此方案的缺点是工程建设时需全线埋设地下管道，施工难度、工程量较大，工程建设期一次性投资较大。

4. 无线通信系统

（1）概述　为保证现代有轨电车系统维修以及车辆段内物业管理及车辆设备维修的需要，需在车辆段内建立一个安全、可靠、经济适用的无线通信系统，车辆段内的无线通信实现全覆盖。

（2）系统构成　维修、物业常规无线通信系统采用无线对讲方案，用于现代有轨电车车辆段覆盖范围内值班员与场内移动人员之间的通信联络以及维修维护人员间的通信联络。在维修调度室设置固定台，作业人员配置手持台。

无线通信系统由用户终端（固定台、便携台）、中继设备及天馈线构成。

中继设备可选用变频中继台及光纤直放站两种方案。光纤直放站由于采用光信号传输，光纤直放站的传输距离比采用变频中继台更远，但由于无线信号只在车辆段内覆盖，不需要远距离传输信号，且采用光纤直放站方案投资较大，因此适宜采用变频中继台作为中继设备。

用户之间通话采用400MHz异频单工无线对讲方式。维护维修组固定台与便携台移动发射频率f1，接收频率f2；中继设备由变频中继台构成，接收频率f1，发射频率f2。维护维修组固定台与便携台移动发射频率f3，接收频率f4；中继设备由变频中继台构成，接收频率f3，发射频率f4。

变频中继台选用宽带放大设备，能放大多组频点，可适应多个频点的应用或频点调整的需要。

（3）频率配置方案　系统设置两对频率点，一对频率点供车辆段内维护维修人员使用，一对频率点供车辆段内物业人员使用。每对频率点只有被固定台选呼身份码的便携台进行通话，而其他组的便携台仍处于守候状态。

（4）系统服务质量指标　在场强覆盖区内，无线接收机音频带内输出的信噪比不小于20dB(A)。在满足信噪比的要求下，通信地点及时间概率不小于90%。

11.2.3　信号工程

1. 信号系统

（1）设计原则

1）系统构成合理、操作简单，在满足现代有轨电车基本运行要求前提下，所选用信号系统应尽可能简单、高效。

2）设备尽量集成化，系统结构模块化，便于功能扩展，方便运营和维护。

3）在满足系统安全性、可靠性要求的前提下，优先选用国内能够提供的成熟设备或器材，以降低工程造价和后期运营维护成本。

4）设备选型应与城市景观相协调，满足沿线轨旁和车站的环境条件，减少设备外露；

选用的设备应满足抗电磁干扰性能要求。

与地铁、轻轨相比，现代有轨电车具有运量小、质量轻、制动距离短等特点，现代有轨电车在不封闭的路面上行车，与市政道路在同一平面上且路口较多。鉴于上述情况，现代有轨电车信号系统不适合采用地铁或轻轨常用的列车运行控制系统，不具备进路控制、列车追踪、车载设备防护等功能，适宜采用较简单的信号控制系统。

（2）系统构成　现代有轨电车信号系统由正线信号控制、行车指挥以及车辆段信号控制三个子系统构成。

1）正线信号控制子系统。正线信号控制子系统主要是针对正线道岔区域设计的道岔控制系统设备，以及在部分交叉路口设置的交叉路口信号控制系统（该系统需要与当地交通管理部门协商后确定）。现代有轨电车正线信号控制设备主要安装在现代有轨电车正线中间折返处与尽头折返处（设置道岔的区域）；在行车组织方案以及与当地交通管理部门协商确定后，可以选择在部分主次相交路口和主、支相交路口设置交叉路口信号控制系统，实现与市政道路信号之间的联锁。

2）行车指挥子系统。行车指挥子系统可实时显示全线现代有轨电车的位置和运行情况，辅助调度员完成车辆调度指挥、车辆自动识别及追踪、运行图调整、时刻表编制、运营计划管理，以及掌握电车正点/晚点信息、车辆管理、运行监督、车次号显示等功能，它对于提高现代有轨电车运营效率、实时掌握现代有轨电车运营情况、保障现代有轨电车运行安全等功能的实现具有重要意义；同时系统可与乘客向导系统接口，向乘客向导系统提供现代有轨电车信息。

3）车辆段信号控制子系统。车辆段的作业方式主要是车辆的进、出入段和段内的调车作业，段内道岔多、作业频繁，为了保证现代有轨电车在段内的调车作业及出入车辆段作业安全，提高调车效率，推荐采用地铁车辆段常用的计算机联锁系统。

联锁设备是保证现代有轨电车运行安全的设备，实现现代有轨电车进路上道岔、信号机、现代有轨电车占用检测设备间正确的联锁关系，必须满足故障-安全原则。

列车占用检测设备可采用计轴或者轨道电路。计轴与轨道电路相比，具有以下优点。

① 工作不受道床漏泄电阻变化的影响，并且与钢轨表面的洁净程度无关。

② 计轴设备不受天气、周围环境等因素的影响，工作稳定性高，可有效解决轨道电路存在的分路不良和异常红光带等故障。

③ 不需加装绝缘节以及与轨道电路工作相关的道岔跳线、轨道接续线等。

④ 不受牵引回流的影响。

⑤ 采用计轴后，轨道区段的长度不受限制，可以解决一送多受的问题，不用轨道分割，对于线束道岔区段，有非常积极的意义。

⑥ 设备工作可靠，维修量少。

⑦ 安装简单，调试方便。

⑧ 采用计轴设备后，投资较轨道电路偏高。就计轴技术而言，可以实现站内大规模取代轨道电路，而作为常备的信号设备。

2. 火灾自动报警系统（FAS）

（1）主要设计原则

1）FAS 设计贯彻执行“预防为主，防消结合”的消防工作方针。

2）按同一时间内发生一次火灾设计。

3）FAS 监控管理范围包括车辆段、停车场。

4）系统采用两级控制的管理方式。

5）对于车辆段/停车场内的专用排烟风机、消防水泵等重要的消防设备，FAS 既能自动监控，也能在紧急情况下进行手动控制。

6）对于正常工况与火灾工况下兼用的机电设备，正常工况下由 BAS（环境及设备监控系统）监控；火灾工况下，BAS 接受 FAS 的火灾信息，按照相应火灾模式控制现场设备，并保证火灾模式优先。

7）FAS 采用的设备必须经国家消防电子产品质量监督检测中心检验合格，并得到市级消防部门认可。

（2）系统构成

1）车辆段 FAS 构成。车辆段 FAS 采用集中式火灾自动报警系统，以车辆段综合楼为消防控制中心，在此设置火灾报警主控制器、手动控制盘、消防电话主机、FAS 工作站及与市消防、防汛、地震预报中心联系的外部电话，同时负责建筑内的火灾探测与报警。在车辆检修组合库、停车列检库等设置区域火灾报警控制器，负责区域内的火灾自动报警及消防设备的联动控制。火灾报警主制器与各区域报警控制器之间采用光纤组建专用环形总线网，保证车辆段范围内火灾自动报警系统正常运转。

火灾报警控制器与现场各类探测器、输入输出模块、手动火灾报警按钮及消火栓按钮等设备采用环形总线连接。

2）停车场 FAS 构成。在停车场的停车列检库设置 FAS，采用集中报警系统；在消防控制室设置火灾报警控制器、手动控制盘、消防电话主机、FAS 工作站及与控制中心、市消防、防汛、地震预报中心联系的外部电话。

火灾报警控制器与现场各类探测器、输入输出模块、手动火灾报警按钮及消火栓按钮等设备采用环形总线连接。

（3）FAS 功能

1）监视管辖范围内的防火设备（火灾探测器、模块、控制盘和电源）的运行状态，接收火灾报警，并显示报警部位。

2）发生火灾时，FAS 向 BAS 发送火灾模式命令，实现火灾模式下的消防设备的联动控制。

3）发出火灾警报，提醒人员疏散。

4）对火灾专用设备（消防泵、专用排烟风机等）进行联动控制。

5）火灾工况下切断非消防电源（含接触网电源）。

6）记录、打印、存储火灾报警信息。

7）向市消防、防汛、地震预报中心报警。

（4）FAS 选型

1）系统的软件设计应充分考虑到可靠性、可维修性和可扩展性，具备故障诊断、在线修改功能。

2）系统硬件选择应考虑环境的特殊性，应具有防尘、防腐蚀、防潮、防霉、防振、抗电磁干扰和静电的能力。

3）在确保使用功能、运营可靠、技术先进的前提下，应尽可能选用国产设备。

4）FAS 的主要设备必须为经国家消防电子产品质量监督检测中心检测合格的产品，并获得中国消防产品质量认证委员会颁发的《产品质量认证证书》。

（5）电源与接地　FAS 与 BAS 在车辆段消防控制中心、车辆检修组合库和停车列检库共用电源，用电为一级负荷，采用 UPS 供电，用电负荷为 10kVA，FAS 蓄电池备用时间为 1h，BAS 为 30min，采用分时切断保证系统供电。在停车场停车列检库设置 UPS，一级负荷，用电负荷为 5kVA，UPS 电池备用时间为 1h。

FAS 采用综合接地，接地电阻不大于 1 欧姆。

（6）接口

1）与动力照明专业的接口：在动力照明配电箱/控制柜的控制接线端子排。

2）与环控通风专业的接口：在专用防排烟风机、电动防火阀等设备的控制器/箱接线端子。

3）与给水排水专业的接口：在消防水泵控制箱的接线端子排。

4）与 BAS 的接口：在火灾报警控制器的通信接口处。

5）与防火卷帘门的接口：在防火卷帘控制箱的接线端子上，采用硬线接口。

6）与接触网专业接口：在接触网供电开关接线端子上，采用硬线接口，火灾时切除接触网电源。

3. 环境与设备监控系统（BAS）

（1）主要设计原则

1）BAS 负责对车辆段的环控通风、动力照明、给水排水设备的监控与管理。

2）BAS 设计应组网灵活、技术先进、运营管理方便，节省投资，系统设计应满足车辆段机电设备的监控要求并留有裕量。

3）对于消防专用防救灾设备以外的机电设备（暖通空调、给水排水及自动扶梯等），正常工况下由 BAS 监控；火灾工况下，BAS 接受 FAS 的火灾信息，按照相应火灾模式控制现场设备，并保证火灾模式优先。

4）系统设计和设备配置应根据环境特点，考虑抗电磁干扰、防尘、防潮、防霉及防振等性能，考虑相互之间软、硬件的开放性和兼容性。

（2）系统构成　BAS 主要对管辖范围内的环控通风、动力照明、给水排水等设备进行监控及管理。BAS 主要由 BAS 工作站、BAS 服务器、冗余主控制器、远程 I/O 模块、各类传感器、执行器及现场总线（或以太网）组成。

BAS 在车辆段消防控制中心设操作员工作站、冗余主控制器，在车辆检修组合库、停车列检库设置远程 I/O。远程 I/O 负责被控设备的接入，主控制器与远程 I/O 之间采用现场总线（或以太网）连接。

PLC 具有逻辑判断、定时、计数、记忆和算术运算、数据处理、联网通信及 PID 回路调节等功能，符合工业现场的要求，具有高可靠性、强抗干扰能力，编程安装简便，输入和输出端更接近现场设备。

（3）系统功能

1）监视及控制管辖范围内的通风空调、给水排水及动力照明等设备，实现对设备的单控、群控及组控。

2）能对机电设备进行模式和时间表控制。

3）对 BAS 监控的设备进行故障报警显示。

4）接收被监控设备的各类报警信息，报警应有声光报警、报警画面弹出和确认功能。

5）接收 FAS 的火灾模式控制信息，实现火灾模式下的联动功能。

6）对各被控设备进行运行累计计时，提供维修报告；主、备设备按设定进行自动切换，提高设备的利用率。

7）记录、存储设备的运行信息并进行档案管理。

（4）系统选型

1）系统的软件设计应充分考虑到可靠性、可维修性和可扩展性，具备故障诊断、在线修改功能。

2）系统硬件选择应考虑环境的特殊性，应具有防尘、防腐蚀、防潮、防霉、防振、抗电磁干扰和静电的能力。

3）在确保使用功能、运营可靠、技术先进的前提下，应尽可能选用国产设备。

4）BAS 设备应选择具备可靠性、容错性、可维护性的工业级控制产品，事故通风与排烟系统的监控宜采用冗余措施。

5）控制器应采用可扩展、易维修的模块化结构，并具有远程编程功能。

6）输入输出（I/O）模块应具有热插拔功能及必要的隔离措施；传感器的输出应选用标准电信号；系统应具有抑制变频器谐波及防噪声干扰的措施。

（5）电源与接地　在车辆段，BAS 与 FAS 共用电源，一级负荷，由 FAS 在消防控制中心、车辆检修组合库、停车列检库等地设置 UPS，用电负荷分别为 10kVA。在车辆段，BAS 电池备用时间为 30min。

BAS 系统采用综合接地，接地电阻不大于 1 欧姆。

（6）BAS 与相关系统接口

1）与动力照明专业的接口：在动力照明配电箱/控制柜的控制接线端子排。

2）与环控通风专业的接口：在暖通空调设备的控制箱的接线端子排或通信接口处。

3）与电梯及自动扶梯专业的接口：在电梯及自动扶梯控制器的通信/硬线接口处。

4）与给水排水专业的接口：在给水排水设备的控制箱的接线端子排处。

5）与 FAS 的接口：在火灾报警控制器的通信接口处。

11.2.4　其他机电系统

1. 接触网系统

（1）接触网架设范围　工程接触网架设范围包括正线、正线间的渡线、折返线、停车线、出入段线以及车辆段内电化股道。

（2）主要设计原则

1）接触网系统应满足工程行车最高速度的要求，安全可靠地向车辆供电。

2）接触网的结构型式力求简单、轻型，稳定性好，便于安装。

3）接触网设备及零部件要技术先进、安全可靠、耐腐蚀性好，做到不维修或少维修。关键零件采用强度高、性能好的模锻或精铸金属零件。

4）接触网形式应力求美观，减少对城市景观的影响。

（3）架空接触网悬挂方式比选　城市现代有轨电车工程一般可采用的接触网悬挂方式为带弹性吊索的简单悬挂方式以及简单链型悬挂方式。无论采用何种悬挂方式，导线的配置必须满足载流量要求。简单悬挂方式示意如图 11-7 所示，链型悬挂方式如图 11-8 所示。

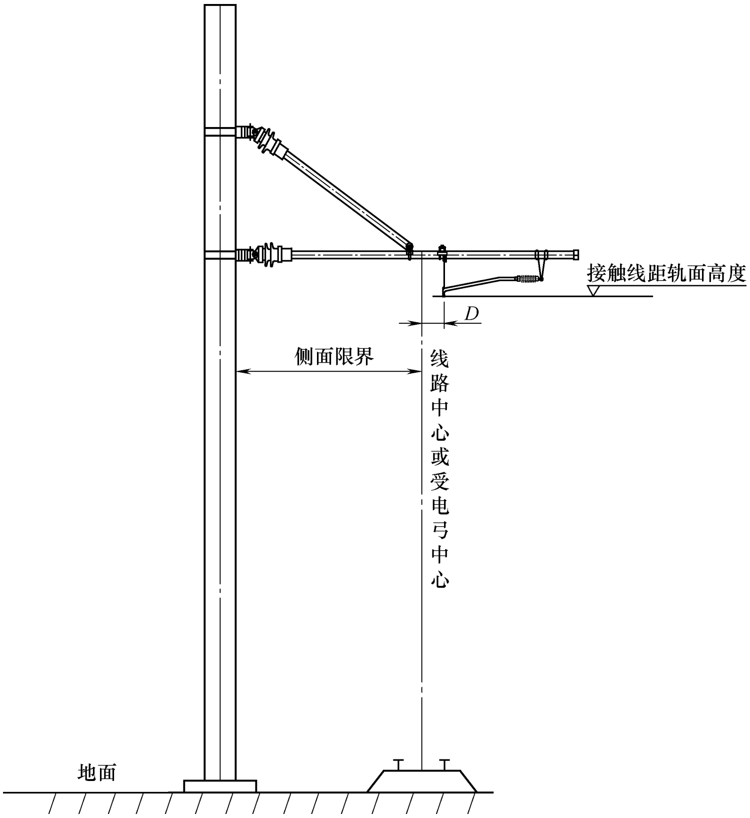


图 11-7　简单悬挂方式示意

1）结构型式及导线配置。简单悬挂由接触线、弹性吊索及腕臂装置构成，结构简单；链型悬挂腕臂装置的构成形式与简单悬挂基本相同，导线配置为承力索 + 接触线 + 吊弦，总体结构比简单悬挂方式复杂。

2）受流质量。简单悬挂主要通过安装在悬挂点处的弹性吊索改善受流质量，硬点多，驰度不易控制；链型悬挂通过承力索以及沿线设置的弹性吊弦改善受流质量，悬挂系统的弹性好，受流质量好。

（4）接触网过路口处的解决方案　在路口处架设接触网，车辆无须提供特殊功能。考虑到路口的宽度，可以通过特殊设计接触网悬挂结构或适当减少接触网线材以达到最大限度的优化设计，尽量减少对城市景观性的破坏。工程路口主要有两种形式，分别为十字交叉口和丁字形路口。对于十字交叉口有以下三种方案，如图 11-9 所示。图 11-9a 所示为在线路中心直接布置支柱的形式；图 11-9b 所示为采用两组软横跨的形式；图 11-9c 所示为采用两组软横跨交叉的形式。对于丁字形交叉口有以下三种方案：图 11-9d 所示为采用两组软横跨的形式；图 11-9e 所示为在线路中心直接布置支柱的形式；图 11-9f 所示为采用三个支柱两组软横跨的形式。

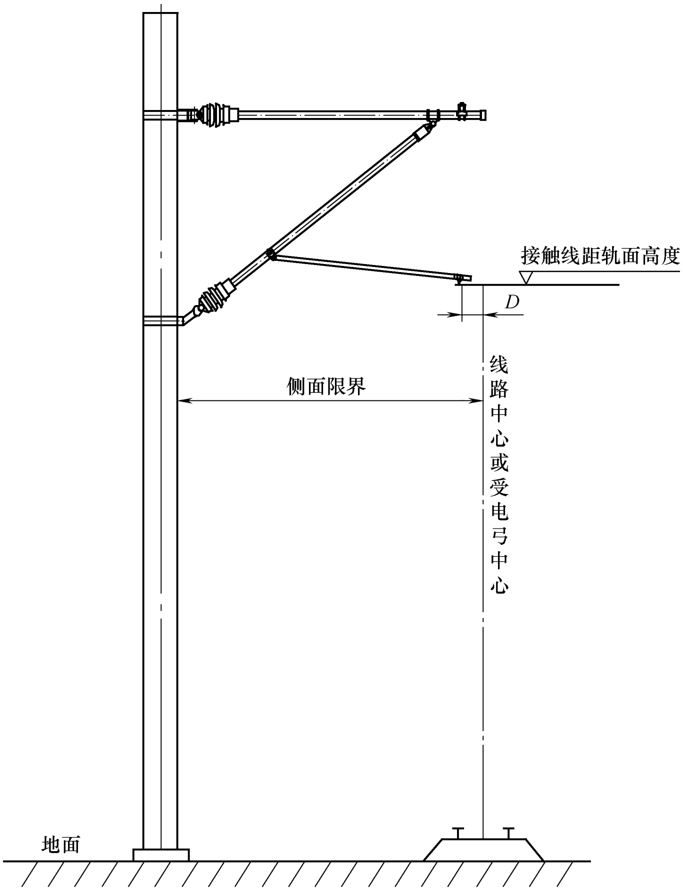


图 11-8　链型悬挂方式示意

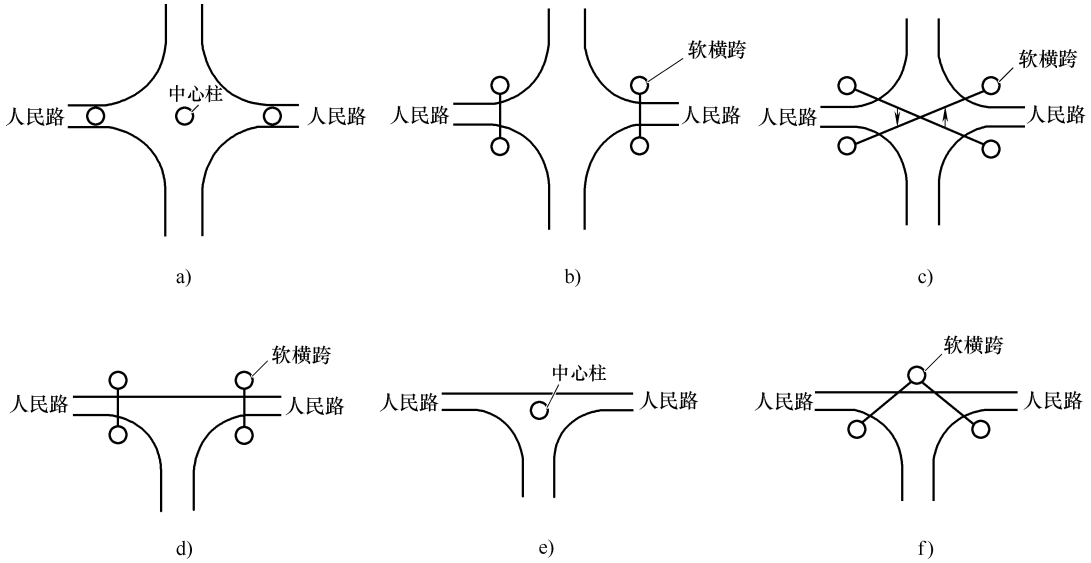


图 11-9　接触网过路口处的解决方案

2. 电力监控系统（SCADA）

电力监控系统用于对工程的变电所、牵引网等主要供电设施的运行状态及杂散电流的相关参数进行实时监视、控制、数据采集及处理，实现供电设备的自动化调度管理，以确保牵引供电系统和电力变配电系统安全可靠和经济运行。

（1）系统构成　电力监控系统由电力调度中心主站系统、被控站系统、供电车间复示系统及传输通道构成。

1）电力调度中心主站系统。电力调度中心主站系统设在车辆段综合楼电力调度中心。系统配置主备系统服务器、双并行调度员工作站、系统维护工作站、Web 服务器、通信处理设备等网络节点设备及人机接口设备、实时数据及文档管理报表打印机、系统维护打印机、画面拷贝机、UPS 电源设备等外围设备，同时具备完善的软件资源。

2）被控站系统。被控站系统为设在变电所内的综合自动化系统。变电所综合自动化系统由变电所管理层设备、面向间隔层的保护测控装置及其他智能设备和站内通信网络三部分组成。系统采用集中管理、分散布置的模式，各下位监控单元安装于各开关柜内，上位监控单元通过变电所内通信网络对其进行监视控制。

3）供电车间复示系统。供电车间复示系统主要设备包括复示工作站、打印机及 UPS 等，独立构成供电车间复示局域网。主要为了提高设备维护管理水平及工作效率，实现状态修。特殊情况下也可以通过网络管理人员为供电车间工作人员授权接替调度员的权限，对供电设施进行直接调度。

4）传输通道。系统采用通信专业配置的专用光纤数据传输通道，通信方式采用以太网传输方式。

（2）系统控制方式　供电系统采用电力调度中心集中控制、所内控制和设备本体控制三级控制方式。系统主要功能包括：

1）遥控功能：改变运行方式和倒闸操作，包括单控、程序控制、定时控制、自动控制及模拟操作等。

2）遥信功能：对主要电力设备运行状态信号、事故、预告信号等进行实时数据采集，在电力调度中心进行显示、报警、存储及打印等处理。

3）遥测功能：对变电所重要电参数进行实时采集，并在电力调度中心以窗口、曲线、棒图方式动态显示。

4）调度事务管理功能：电力调度中心可以根据从变电所采集的设备运行信息进行分类统计、参数计算及寿命评估等，为调度决策及维护检修提供必要的依据。

5）培训功能。

6）良好的系统维护、修改、扩展功能。

7）系统时钟同步功能。

8）系统容错、自诊断及自恢复功能。

9）全中文功能。

（3）负荷分类及系统供电方式　根据用电设备的重要程度，动力照明负荷划分为三级：

一级负荷有车辆段及停车场内通信、信号、FAS、SCADA、消防设备、应急照明、重要排水泵、变电所用电及接触网报警装置等。

二级负荷有沿线车站照明、车辆段及停车场照明、区间道岔转辙设备、一般给水排水泵

及车辆段重要的检修设备等。

三级负荷为除一、二级负荷外的其他负荷。

一级负荷由变电所提供两路电源供电，末端切换。二、三级负荷由双电源变电所或接在环网上的变电所提供一回低压电源供电，距离变电所过远的重要二级负荷提供两回线路供电。区间道岔转辙设备属于重要二级负荷，从附近箱式降压变电所接引一路专用电源，附近车站混合电源作为其备用电源。

（4）动力配电、控制和保护方式　动力配电以放射式和树干式相结合的方式。

沿线低压电缆的敷设采用与牵引供电专业的环网电缆、通信线缆同路径、同敷设方式的原则，进行集约化设计。

动力设备根据需要采用就地控制、自动控制（通过 FAS 实现）两种方式。

动力设备配电配置过载、短路、漏电等保护。

（5）照明配电、光源选择及控制方式　车辆段及停车场一般房屋设工作照明，重要房间设应急照明。应急照明包括疏散照明、疏散诱导标志灯、备用照明等。净高小于 1.8m 的电缆通道、电缆夹层设安全电压照明；沿线简易车站，通过站牌灯箱及广告灯箱并结合道路路灯进行照明。

照明配电以放射式为主、树干式为辅。

照明光源以高效节能荧光灯为主，段内高净空场所照明采用发光效率高、显色指数好的金属卤化物灯；车辆段和停车场室外场所采用投光灯塔和路灯照明。

车辆段照明采用集中控制和时控、光控相结合的形式；简易车站照明暂考虑采用时控与光控相结合的方式进行控制；隧道设置检修照明，采用时钟自动控制和现场手动控制相结合的形式。

（6）系统接地及安全保护　车辆段及停车场建筑物考虑防雷接地措施；区间车站雨篷采用防雷接地、强弱电系统接地为一体的共用接地系统。

3. 供电车间

在车辆段综合维修基地设置供电车间，负责全线供电设施的运营管理、检修维护和事故抢修以及材料供应等工作，保证供电系统安全可靠和不间断地供电。

（1）主要设计原则

1）供电车间的规模按满足主要供电设备中、小修设计，设备大修由车辆段或外委有关工厂进行。

2）车间的生产房屋按供电设备检修需要建设，并预留远期的发展条件。

3）按满足近期中小修程配备车间的检修试验设备及仪器、仪表。对部分使用率较低的设备（如机械加工设备）与基地内其他专业共用。

4）车间的组织机构尽量简化，根据实际需要配备生产管理人员，生产定员按近期维护检修需要配备。

5）电气设备的检修、检测和试验方式以现场为主，回送车间检修为辅。

6）接触网的维护、检修和检测以接触网检测车检测为主，人工检测为辅。

7）变电检测设备的配备原则：根据供电车间的检修范围配备检修设备，尽量配备智能化、高效率的检测车辆和设备，提高检测水平和工作效率。

8）供电车间其他的附属房屋、生活设施、交通工具、通用设备和岔线由综合维修中心

统一考虑。

（2）杂散电流腐蚀防护　杂散电流防护设计按照“以堵为主，以排为辅，堵排结合，加强监测”的原则设计，设置杂散电流防护及检测系统，在无法设置杂散电流收集网的路段，对沿线金属管线进行单独防护。当杂散电流防护与安全接地发生矛盾时，优先考虑安全接地。

1）正线杂散电流防护方案

① 确保畅通的牵引回流系统，走行轨之间牢固焊接，接头电阻不大于 1m 轨的电阻值。

② 回流走行轨采用绝缘法安装，杜绝牵引回流流散。

③ 利用整体道床内部钢筋作为主排流网。

④ 在各牵引变电所内设置排流柜，当轨道绝缘水平降低时，启动排流柜排流，限制杂散电流的腐蚀，并控制杂散电流向外扩散。

⑤ 当市政道路改造时，对与现代有轨电车线路邻近的金属管线做加强绝缘防腐，防止杂散电流对金属管线及设备的侵入。

2）车辆段及停车场杂散电流防护方案

① 出入段线与正线间以及检修库内外线路间设置钢轨绝缘，同时在此处设置单向导通装置。钢轨绝缘位置应与接触网电分段配合。

② 为保证人身安全，检修库及停车库内走行轨须接地，且库内轨道之间根据规模大小设置均流电缆。

③ 车辆段（停车场）内应根据电化分段情况分别设置回流回路。

④ 车辆段（停车场）内管道应尽量采用非金属材质，若采用金属材质则应进行加强防腐。进出车辆段（停车场）的金属管道在进出部位设置绝缘法兰。

⑤ 出入车辆段（停车场）的走行线与正线间、停车库内与库外的钢轨上设置单相导通装置，以限制杂散电流的扩散。

⑥ 车辆段（停车场）检修库设置钢轨电位限制器。

⑦ 在车辆段（停车场）牵引变电所内设置杂散电流监测装置，对场段单向导通装置运行状态进行实时监测。

（3）杂散电流监测系统

1）杂散电流监测点设置原则。在车站设置监测点，监测点由传感器和参比电极组成。传感器将采集的模拟信号转换为数字信号，并送至牵引所监测装置进行信息处理，所内监测装置可对传感器实时发布指令进行监测，并将处理信息通过牵引变电所综合自动化装置送至控制中心，进行全线的信息处理。

2）杂散电流监测防护系统构成。杂散电流监测防护系统由参比电极、测量端子、传感器、转接器、监测装置及信息传输通道组成，采用分布式结构框架，如图 11-10 所示。

4. 电视监视系统

（1）概述　电视监视系统是运营管理现代化的配套设备，是监视各变电所及车辆段内情况的辅助通信工具。

电视监视系统应满足以下功能要求：车辆段值班员应能以轮巡方式监视车辆段范围内的摄像机摄取的图像；电力调度中心值班员应能查看各变电所情况。车辆段电视监视中心系统可对车辆段内所有摄像机的图像信号及各牵引变电所摄像机的图像信号进行实时不间断地录

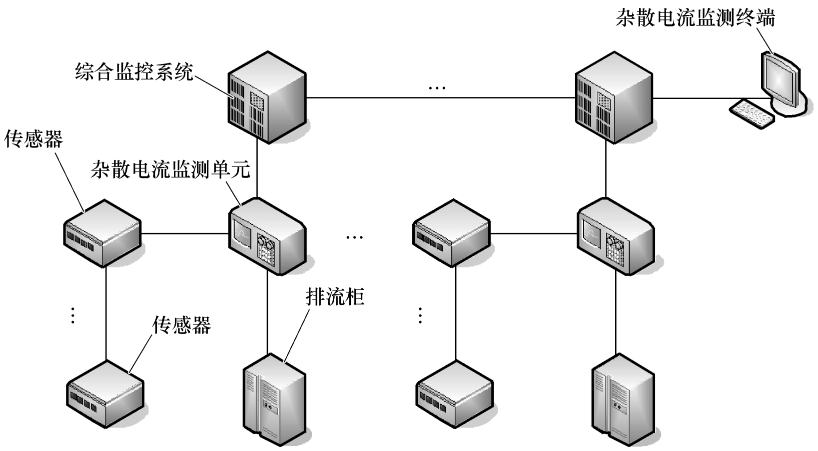


图 11-10　分布式结构框架

像，录像保留时间不小于 7d。

（2）系统方案　电视监视系统在视频图像传输方面经历了从模拟视频传输阶段、视频图像选路数字编码传输阶段逐渐向视频图像全编码传输发展。由于电视监视系统节点众多，管理复杂，适宜采用全编码电视监视系统。

（3）系统构成　系统由车辆段电视监视设备和变电所电视监视设备组成。

1）车辆段电视监视设备。车辆段电视监视设备主要由视频主服务器、交换机、监视控制终端、视频编解码器、摄像头和网络录像设备等构成。

在出入段线咽喉区处及车辆段内设置彩色摄像机，完成对出入段线咽喉区及车辆段内的视频图像采集；在综合楼值班员处设置监视控制终端，完成对车辆段内的监控。

2）变电所电视监视设备。变电所电视监视设备主要由摄像机、视频编码器及监视控制终端组成。

在各牵引变电所内设置低照度彩色摄像机及视频编码器，实现对牵引变电所内的视频图像采集，视频图像经过编码后上传至视频主服务器；在电调中心设置监视控制终端，完成对牵引变电所内的监视。

5. 广播系统

（1）概述　广播系统是管理部门向工作人员发布作业命令和通知的重要手段。在灾害状态下，广播系统转换为防灾广播，指挥疏导人员。

（2）系统构成及功能　根据目前广播技术的发展，系统有两种方案比较可行：全数字广播和模拟广播技术。

全数字广播系统的控制设备处理的都是数字信号，经数字功放放大后还原成模拟信号，通过广播电缆传输至扬声器。

传统的模拟广播系统处理的都是模拟语音信号，功率放大器一般采用模拟定压功放。

数字广播采用 DSP（数字信号处理）微处理技术，使控制更灵活，结构更简单。采用的数字功放体积小，效率高。数字广播可以实现比模拟广播更高的广播音质；模拟广播技术成熟可靠，且系统造价低于数字广播。

（3）系统构成　广播系统包括广播控制台、广播控制及功放机柜、扬声器等设备。

广播控制台设在车辆段综合楼值班室，供值班员对车辆段进行广播，包括话筒、选路键盘、监听扬声器、音量控制器和语音合成器及其他音源设备等。

广播控制及功放机柜设在车辆段综合楼通信机械室，柜内设有功放机、负载切换装置、前级放大装置及输出检测装置。

扬声器设置在车辆段综合楼、维修中心、列检库、组合车库及洗刷库。车辆段综合楼、维修中心内采用 5W 吸顶扬声器或挂壁扬声器，其他均采用 15W 挂壁扬声器。

6. 时钟系统

（1）概述　时钟系统为车辆段内的运营指挥、维护管理部门提供统一的时间信息。

（2）系统功能　时钟系统由一级母钟及子钟等设备构成。设置在车辆段的一级母钟接收来自 GPS 的标准时间信号，产生稳定的标准时间信号，通过 RS422 接口箱驱动全部子钟显示统一时间。一级母钟在车辆段为其他系统提供统一的时间信号，使现代有轨电车内各机电系统的定时设备与时钟系统同步，从而实现现代有轨电车全线统一的时间标准。

时钟系统应满足以下功能要求：

1）能够接收来自 GPS 的标准时间信号，本身有高稳晶振，跟踪、同步于 GPS 标准时间。如 GPS 故障，本身晶振独立工作，产生和分配精确时间信号，提供给二级母钟和其他需要标准时间的设备。

2）一级母钟应能分路输出，连接车辆段内的子钟。

3）子钟安装于调度大厅、管理办公用房及其他与行车运营有关的处所，提供时间显示。

4）网管监控终端。系统具有集中监控功能，发生故障时能进行声光报警，并在监视器上显示故障原因。

（3）系统构成　系统由一级母钟、GPS 接收设备、RS422 输出接口箱及子钟构成。车库内的子钟采用大型数显子钟；与行车相关的办公用房内设置小型数显子钟。

7. 门禁及周界入侵报警系统

（1）概述　为确保现代有轨电车安全运营，保证受权人员在受控情况下方便地进入车辆段设备和管理区域，防止非授权人员进入限制区域，在车辆段的设备用房及管理用房设置门禁系统，箱式变电所门禁设备由箱式变电所设备供应商统一考虑；周界入侵报警系统实现对车辆段周界、地面的入侵探测功能，有效保障车辆段的安全，实现预防性报警功能。周界入侵报警系统可与车辆段内电视监视系统联动。

（2）系统构成　门禁系统由主控计算机、管理终端、就地控制器、读卡器及各种电磁锁等组成，采用联网式系统。

周界入侵系统主要由红外探测器、报警主机、声光报警装置及监控管理终端等构成。

8. 办公自动化系统

（1）概述　系统为车辆段内的工作人员提供办公用网络平台及标准化布线，满足车辆段内运营管理的使用要求，提高现代有轨电车运营系统的办公效率。

（2）系统设置原则

1）由于以太网扩展灵活，因此网络设备可采用“随用随加”的原则，以节省初期投资。

2）在各值班室、办公室、综合维修中心及列车员公寓等处设置信息点。信息点按建筑

规模及平面布局设置，终端设备按初期配置。值班室、列车员公寓等独立开间按照每间一个信息点的原则布置；综合维修中心等大区域办公区、会议区按照每 $20m^2$ 一个信息点的原则布置，并可根据实际情况增加信息点。

9. 通信电源与防雷及接地系统

通信电源应有集中监控管理功能，能对交流配电屏故障、交流不间断电源（UPS）输出过压/欠压及蓄电池放电电压低等做出告警。

（1）通信电源系统　通信电源系统向本地通信各子系统设备提供不间断、无瞬变地供电；当外供电源故障时，蓄电池能提供主要设备 2h 的备用电源。

车辆段通信电源系统主要由 UPS 电源、蓄电池、交流配电屏组成；区间箱式变电所内设置机架式 UPS、蓄电池及交流配电屏单元。各通信设备均由通信 UPS 直接供电，传输设备、程控交换机等通信设备所需的直流电源由各通信设备的整流装置产生。

为实现减少维护人员和无人值守的目标，车辆段、各牵引变电所的通信电源设备必须具有集中监控管理功能，系统应能对通信电源系统设备提供集中监控、维护管理。监控内容包括：交流不间断电源（UPS）输出过压/欠压告警、蓄电池放电电压低、整流器故障、逆变器故障及旁路故障告警等。

（2）防雷及接地系统　防雷及接地系统向本地通信各子系统设备提供工作接地和外壳保护接地，确保系统正常工作和操作者的生命安全。

车辆段综合楼由电力专业提供综合接地体，引至设置于通信机械室内接地盘，接地电阻不大于 1 欧姆；沿线箱式变电所通信设备接入由电力专业设置的接地体，接地电阻不大于 1 欧姆。

防雷系统包括数据线防雷器、电源防雷器。在车辆段通信机房内，为各通信系统设置数据线防雷器及电源防雷器。

第12章 节能、环境影响评价与安全

12.1 节能

现代有轨电车工程是一种节能高效运输组织体系，是国家鼓励类项目。工程符合公交优先策略，并通过建设智能交通管理系统，合理管理路权，准确调度运营，有利于提高公交准点率，提高道路通行效率，可以为全面提升交通运输系统运行效率和能源利用效率做出贡献。

12.1.1 能耗指标分析

全球性能源紧张以及气候变化已成为国际社会普遍关注的重大问题，节能减排已经成为国际社会的共同责任。交通运输业是石油消费的重点行业，是温室气体和大气污染排放的重要来源之一。据统计，机动车尾气排放已成为城市大气的主要污染源，目前在我国一些大城市中，机动车污染物排放占大气污染物的比重在60%左右。因此，加强交通节能减排将成为缓解我国能源环境压力的必然选择之一。

我国经济发展与资源环境的矛盾突出，石油资源尤为紧缺，人均可采石油资源仅相当于世界平均水平的7.7%。我国石油消费大量依赖进口，对外依存度已接近50%的警戒线。交通运输业作为全社会仅次于制造业的油品消费第二大行业，是建设资源节约型、环境友好型社会的重要领域之一。我国的基本国情决定着我国必须加快构建节能型综合交通运输体系，否则资源支撑不住，环境容纳不下，社会承受不起，交通发展将难以为继。

当前我国交通行业能源利用效率与世界先进水平相比明显偏低。据公安部交通局统计，截止到2017年3月底，我国汽车保有量已达2亿辆，而汽车每百公里平均油耗比发达国家高20%以上，道路运输的节能潜力巨大。因此，必须加快发展现代交通业，转变交通发展方式，不断提高能源利用效率，以最小的资源消耗和环境代价提供更多、更好的运输服务。

随着我国城市化进程的加快，绿色低碳、节能环保、智能便捷将是未来城市功能定位的主要特色，必然带动以提升城市承载能力为核心的城市建设综合水平的提高。大力发展城市轨道交通，已成为国内众多城市完善城市功能的举措之一，而发展现代有轨电车，正在悄然成为城市轨道交通市场的发展趋势。

现代有轨电车是节能型交通基础设施网络体系建设的重要组成部分。现代有轨电车作为一种中等运量的运载交通工具，是城镇化战略中公共交通体系的重要组成部分，与轨道交通

和快速公交系统（BRT）共同构成新城镇化的公共交通的骨干网络。

现代有轨电车是节能环保型交通运输装备体系的典型代表。钢轮钢轨制式的现代有轨电车道路摩擦阻力小，集中运用了 VVVF（变压变频）控制系统、再生制动功能等先进机电技术；同时，现代有轨电车作为以电力作为动力源的交通工具，与混合动力车辆、蓄电池车辆、天然气公交车辆相比，能源利用率更高，故障率更低，是一种新型的低能耗公共交通工具。

12.1.2 节能措施

现代有轨电车的单位能耗与大运量的地铁系统较为接近，而采用橡胶轮胎行走的常规公交车辆单位能耗是现代有轨电车的三倍多，BRT 是现代有轨电车的两倍多。纯电动车由于采用电能驱动，因此能耗也比较低。

现代有轨电车是城市公共交通业重要的用能大户之一，现代有轨电车的能耗主要有车辆牵引制动、车站动力照明和车辆基地检修设备运行等，这些能耗主要为电力消耗。

在电力消耗中，车辆运行能耗占项目总能耗的 50%～70%，车辆牵引系统中的辅助系统能耗约占牵引系统能耗的 30%～40%；车辆机修、车辆基地等建筑工程能耗约占项目总能耗的 30%～50%。因此，节能的重点是合理的车辆运行及调度。

1. 线路专业

进行线路平面设计时，应尽可能采用较大的曲线半径，避免过多的小半径曲线。根据国内外轨道交通运营的有关资料，列车在地面线或高架线上运行与列车在隧道内运行相比，可以减少隧道阻力，从而节省牵引用电 8%～12%；其次，采用地面运行，还可减少通风设备、排水设备和内照明设备的用电。因此，应进行线路平面优化线形设计：线路平面设计应尽可能采用较大的曲线半径，避免因为小半径曲线限速引起的列车制动、起动而造成耗电量增加。

2. 车辆

钢轮钢轨 100% 低地板现代有轨电车采用钢制轮轨接触的方式，其滚动摩擦因数约为 0.001，钢轮钢轨现代有轨电车与橡胶轮胎车辆相比，减少了车辆克服摩擦力所需要的能量，在能耗方面体现了较大的优势。

车辆采用灵活的编组形式，根据客流情况可以改变车辆编组，调整运能以适应客流，避免造成运能浪费。

3. 行车组织和运营

根据工程的功能定位和客流特征，并考虑到乘客出行的舒适度，初、近、远期采用 6 人/m^2 站立标准。

行车交路满足各预测期单向高峰小时最大断面客流量的运能需求。

4. 供电系统

供电系统由供电方案、牵引/降压混合变电所（站）、牵引网（包括直流馈线、接触网、导轨和回流电缆）、动力照明供电系统、电力监控系统（SCADA）及杂散电流防护系统等组成。

钢轮钢轨 100% 低地板现代有轨电车系统采用架空接触网牵引供电系统供电（DC750V），回流采用钢轨。供电系统推荐采用 10kV 半集中式供电方式，单环网接线型式；正线变电所采

用单母线接线方式，设置一套牵引整流机组与一台变电所用配电变压器；牵引网采用直流750V 接触网供电系统；正线牵引变电所推荐采用箱式牵引变电所，车辆段推荐采用土建式牵引变电所。电力监控系统采用单监控单元方案，供电车间由车辆段工艺统一设置。

（1）供电方案　外部电源供电方式可分为集中供电、分散供电和半集中供电方案。在供电网络条件较为完备的情形下，半集中供电方式整体技术经济指标优于集中式供电方式和分散供电方式，而且半集中供电方案也可以弥补分散供电的不足，在满足供电负荷需求的同时，较好地发挥了分散供电方式的负荷力矩特点，并且便于与工程进度工期匹配。

当供电系统因外部因素（外电源失压、进线电缆故障等）导致某一开闭所进线电源退出运行时，该开闭所外电源进线失电，该路进线开关失压跳闸，供电分区应急联络开关合闸，由相邻开闭所进线电源承担本供电范围内的供电负荷（非高峰小时）。

（2）牵引变电所　牵引供电系统正常运行为双边供电，不应出现单边供电；故障运行时，在条件具备的情况下应优先双边供电或大双边供电，避免单边供电，减少牵引系统损耗。车辆段、停车场采用单边供电方式。因此，应合理设置牵引变电所。

（3）牵引系统　牵引系统上下行走行轨设置均流线，降低牵引系统阻抗，减小牵引系统损耗。

（4）输配电系统　应使降压变电所靠近负荷中心，尽量减小配电电缆长度；合理确定电缆截面，减小低压配电系统的线路损耗。合理确定配电变压器容量，使变压器高效运行。

（5）电缆敷设　合理确定电缆敷设路径，避免电源出现返送电而加大配电电缆的长度。

（6）照明控制　根据功能分区和使用要求的不同，照明控制应集中控制、分散控制和自动控制相结合，根据需要开启与关断部分照明灯具，为节约用电创造条件。

（7）无功补偿装置　对于荧光灯等功率因数较低的设备采取无功就地补偿方式，并在降压变电所采用集中无功补偿装置，使功率因数不小于 0.9，降低线路损耗。

（8）设备选型　选用高效节能灯具；选用低损耗牵引变压器和配电变压器；建议采用变频节能等机电设备。

（9）电力监控　工程实施电力监控系统（SCADA），可对沿线供电设施实行远距离监视、控制和测量，在变电所实行无人值守。

电力监控系统实时采集和显示变电所电流、电压、功率数值和趋势图，统计变压器过负荷情况和出现时间，统计各种电压的最大、最小值和出现时间，根据得到的测量数据编制日报、月报、年报等。

5. 建筑

（1）总体规划方面的措施

1）良好的朝向：建筑主体以南北向布置为主，小部分东西向布置采取遮阳、导风措施。

2）良好的自然通风：主立面和开口迎向夏季主导风向，避开冬季主导风向，自然通风顺畅。

3）立体绿化系统：采用地面绿化、空中绿化及屋顶花园立体绿化系统，提高绿地率和绿化率，可起到遮阳、降温、导风的作用，对节能有利。

（2）单体设计的措施

1）采用简单规整的体形，尽量缩小体形系数。

2）设计合适的窗墙比。

3）采用活动（或固定）遮阳。在西向采用活动（或固定）遮阳，阻挡太阳辐射，降低夏季空调能耗。

4）围护结构采取保温隔热措施，其热工性能符合节能标准要求。

（3）采用的围护结构保温隔热措施及热工性能指标满足 GB 50189—2015《公共建筑节能设计标准》的规定要求。

（4）车辆段厂房　采用屋顶自然通风器，利用风压、热压进行室内通风换气。

6. 给水排水系统

1）给水阀采用节水阀门，各独立用户加装水表。

2）最大限度地利用市政自来水供水压力，生产、生活用水由市政自来水直接供水。给水系统中的设备、管材及管道接口，选用行之有效的新技术、新工艺、新材料和新设备，以提高供水的安全可靠性，降低能耗和水损；优化系统方案，以常规保温为基础，尽量减少使用电保温；尽量选用国家推荐的节水型卫生器具，以有助于节能。

3）所有水泵均采用高效泵，按高效工作区进行选型；严格控制富余水头值，选择低阻力的系统组件（如管道、阀门、水处理器及过滤器等），降低系统的扬程，实现系统节能。

4）车辆段最大限度地利用市政自来水供水压力，给水加压采用变频供水设备或无负压供水设备。

5）车辆基地的屋面雨水通过初期雨水弃流和调蓄处理后回用，作为绿化灌溉和道路冲洗用水，节约水资源。

6）车辆基地食堂和浴室的热水系统采用太阳能辅助电加热系统，尽可能地利用太阳能。

7. 暖通

车辆段检修库、停车库、洗车库等厂房主要采用自然通风，局部区域采用机械通风措施；办公楼等设备用房、管理用房均采用分体空调系统，根据房间使用要求，灵活控制空调设备起停，设备参数应满足国家相关节能要求。

8. 节约能源管理措施

（1）管理机构

1）应根据 GB/T 23331—2012《能源管理体系　要求》建立企业能源管理体系。

2）安排专人负责企业能源计量工作，并应持证上岗。

3）能源管理工作应满足法律法规、标准及其他要求，实现相互协调、相互促进，有效地降低能源消耗、提高能源利用效率。

4）企业应利用过程方法对其活动、产品和服务中的能源因素进行识别、评价和控制，实现对能源管理全过程的控制和持续改进。

5）企业应为应用先进有效的节能技术和方法、挖掘和利用最佳的节能实践与经验搭建良好平台。

6）企业应提高能源管理的有效性，并改进其整体绩效。

7）企业应使相关方确信其已经建立了适宜的能源管理体系。

（2）能源统计、检测及计量仪表配置

1）各个单体建筑和主要设备回路上装设电能表，可动态计量电能消耗量，符合

GB 17167—2006《用能单位能源计量器具配备和管理通则》的要求。

2）对电力功率≥100kW 的主要用能设备加装电能表，配置率要达到 95% 以上。

3）对电力功率≥10kW 的主要次级用能设备加装电能表，配置率要达到 95%。

4）对水耗≥1t/h 的主要用能设备加装水流量表，配置率要达到 95% 以上。

5）对年水耗≥5000t 的主要次级用能设备加装水流量表，配置率要达到 100%。

6）各项计量用表的准确度均应满足规范要求。

企业应设专人负责能源计量器具的配置、使用、检定（校准）、维修及报废。

12.2　环境影响评价

保护环境和安全生产事关人民群众的生存环境和生命财产，事关改革发展稳定大局，是落实科学发展观的必然要求和构建和谐社会的重要方面，也是实现经济效益、社会效益和环境效益统一，实现可持续发展的必由之路。因此，在项目的前期研究中，按规定进行建设项目的环境影响评价是项目决策分析的重要工作。

12.2.1　环境条件调查

环境条件主要调查以下几方面的状况。

1）自然环境。调查项目所在地的大气、水体、地貌及土壤等自然环境状况。

2）生态环境。调查项目所在地的森林、草地、湿地、动物栖息及水土保持等生态环境状况。

3）社会环境。调查项目所在地的居民生活、文化教育卫生及风俗习惯等社会环境状况。

4）特殊环境。调查项目周边地区名胜古迹、风景区及自然保护区等环境状况。

12.2.2　环境影响分析

1）施工期对周围环境的影响。作为现代有轨电车建设项目，施工期是项目对环境产生影响最明显的阶段，道路施工期将建设桥梁、填土路基，为此将在沿线设置施工便道、施工生产生活区等。由此将占用土地，增大水土流失强度、产生施工噪声、影响沿线河流水质，并产生大量扬尘。

2）运营期对周围环境的影响。运营期的环境影响是项目投入使用后在使用过程中产生的影响，表现为持续、长期及变化的特点。随着现代有轨电车车次的增加，交通噪声及振动对沿线居民点、学校及医院的干扰将加大。由于局部工程防护需要稳固，植被恢复尚需时间、水土流失依然存在，路面、桥面径流可能污染水体、水质。

12.2.3　环境保护设施与投资

针对现状及工程施工和运营期间的污染特征，工程设计中要采取较为完善的环境保护措施。

1. 施工期的主要环保措施

施工期的主要环保措施是应做好施工组织与管理工作，制定相应的规章制度并认真

执行。

（1）施工期水污染防治措施

1）工程施工前做好施工的临时排水工作，并充分利用原有的城市排水管网，防止积水四溢。

2）施工现场应设置水沟及沉淀池，施工污水经沉淀后方可排至市政污水管网或河流。

3）沙石料的堆放量要根据工段工程的需要，尽量避免过量堆放。

4）施工机械冲洗废水中含有大量泥沙，需经沉淀池处理后尽量回用。

5）施工期尽量避免在雨季施工，以减少因雨水冲刷，造成的泥沙流失。

6）生活污水要集中排放到城市污水管网中，若排污点附近无市政污水管网，应设置污水处理设施，将污水处理达标后就近排入雨水系统，避免对环境造成污染。

（2）施工期土壤污染防治措施

1）在工程设计过程中尽量做到土方挖填平衡，在施工组织设计中优化挖填工序，减少土石方开挖量。道路建设和管道铺设的施工过程中不得大量弃土，避免废渣乱堆乱放，加强临时性防护措施的布设。

2）项目建设区水土流失以水力侵蚀为主，应尽量缩短施工周期，减少疏松地面的裸露时间，规避雨季汛期流失高峰。

3）必要的弃土弃渣，应先建拦挡和排水设施。土渣稳定后及时布置植物护坡。

（3）施工期大气污染防治措施

1）所有施工机械应做好检修工作，废气的排放必须符合废气排放检测标准。

2）合理选择堆料场位置，不要在开阔地或露天堆放。

3）在干燥、大风天气对易产生粉尘、扬尘的作业面和装卸、运输过程，采取洒水降尘措施。大风天气应避免作业，尽量避免敞开式运输，运输过程严禁抛、洒、滴、漏。

合理组织施工，扬尘的作业、运输避开敏感点和敏感时段。

（4）施工期噪声污染防治措施

1）应注意选用效率高、噪声低的机械，并注意对机械的维护保养和正确操作，保证在良好的条件下使用，减少运行噪声。

2）对施工机械采取隔声罩或施工场地设置隔声挡护屏障等措施，尽量降低施工机械在使用过程中产生的噪音污染。

3）施工单位应合理安排施工时间，高噪声、强振动等机械作业时间应避开白天中午休息时间及夜间（22：00—8：00）。

（5）施工期固体废弃物的处理措施

1）施工时的弃渣、淤泥必须及时清运至规定地点倾倒。

2）施工人员不随地乱扔垃圾，施工时产生的生活垃圾可依托当地的垃圾收集处理装置，收集后进行无害化处理。

（6）施工期对景观环境的防护措施

1）项目建设单位及施工单位应制订详细的施工组织方案，施工期间必须加强管理，预先做好防护、迁移、遮盖等工作。

2）施工期在人员密集域内，应留出必要的安全防护通道，并采取有效的防护措施，做好施工场地的封闭、遮盖工作，以最大限度地减小施工期对城市生态及景观环境的影响。

2. 运营期的主要环保措施

根据运营期污染特征，工程可采取如下措施。

（1）运营期水污染防治措施　运营期间的废水、污水主要来自车辆段，包括生活污水和生产废水。生产废水主要为含油废水，通过隔油沉淀、气浮等处理工艺处理达标后与生活污水合并。生活污水要集中排放到城市污水管网中，若排污点附近无市政污水管网，应设置污水处理设施，将污水处理达标后就近排入雨水系统，避免对环境造成污染。

（2）运营期噪声污染防治措施　轨道交通噪声防治属综合性工程，应从声源降噪和传播途径降噪等多方面研究。车辆运行是噪声源。由于现代有轨电车系统与其他交通车辆在同一路面混合运营，所以在沿线利用传播途径降噪不易实现。主要降噪途径是控制车辆自身的噪声、轨道和道床结构的降噪处理及合理规划布局沿线建筑物功能等。

（3）运营期电磁污染防治措施　现代有轨电车的起制动、供电方式以及运行的机电设施都可产生较强的电磁干扰，尤其是对外界无线传输与电视等敏感系统可构成不利的影响。为此，以国际相关的电磁兼容方面的标准对车辆、机电设备的电磁兼容性进行规范性要求，达到控制电磁干扰的目的。

（4）运营期固体废弃物污染防治措施　加强路面清扫，加强路面环境卫生管理。

12.2.4　环境影响评价

建设项目一般会引起项目所在地自然环境、社会环境和生态环境的变化，对环境状况、环境质量产生不同程度的影响。环境影响评价是在研究确定场址方案、线路方案和技术方案中，调查研究环境条件，识别和分析拟建项目影响环境的因素，研究提出治理和保护环境的措施，比选和优化环境保护方案。

1. 基本要求

工程建设项目应注意保护场址及其周边地区的水土资源、森林植被、文物古迹及风景名胜等自然环境和社会环境。

项目环境影响评价应坚持以下原则：

1）符合国家环境保护法律、法规和环境功能规划的要求。

2）坚持污染物排放总量控制和达标排放的要求。

3）坚持“三同时”原则，即环境治理设施与项目的主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。

4）力求环境效益与经济效益相统一，在研究环境保护治理措施时，应从环境效益、经济效益相统一的角度进行分析论证，力求环境治理方案技术可行和经济合理。

5）注重资源综合利用，对环境治理过程中项目产生的废弃物提出再利用方案。

2. 破坏环境的因素分析

分析项目建设施工和生产运营对环境可能造成的破坏因素，预测其破坏程度，主要包括以下方面：

1）对地形、地貌等自然环境的破坏。

2）对森林草地植被的破坏，如引起的土壤退化、水土流失等。

3）对社会环境、文物古迹、风景名胜区及水源保护区的破坏。

12.3 安全与消防

拟建项目劳动安全卫生与消防的研究是在已确定的技术方案和工程方案的基础上，分析论证在建设和生产过程中存在的对劳动者和财产可能产生的不安全因素（如工伤和职业病、火灾隐患），并提出相应的防范措施。

12.3.1 劳动安全

危害因素和危害程度分析指分析在生产或者作业过程中可能对劳动者身体健康和生产安全造成危害的物品、部位、场所，以及危害范围和程度。包括有毒、有害物品的危害和危险性作业的危害。

安全措施方案指针对不同危害和危险性因素的场所、范围以及危害程度，研究提出相应的安全措施方案，主要有：

1）在选择工艺技术方案时，应尽可能选用安全生产和无危害的生产工艺和设备。

2）对危险部位和危险作业，应提出安全防护措施方案。

3）对危险场所，按劳动安全规范提出合理的生产工艺方案和设置安全间距。

4）对易产生职业病的场所，应提出防护和卫生保健措施方案。

运营期间危害劳动安全的因素有：车辆运行失控、火灾、电器设备过载及供电设备故障、钢轨损伤或断裂；车站地坪材料防滑效果差，存在安全事故隐患等。应采取适当的应急防范和控制措施，确保现代有轨电车运行安全，避免人员伤亡事故发生。

运营期间影响卫生的因素有：列车和车站以及生产办公房屋通风空调不良引起环境空气质量差；车站照明亮度不够、照明质量差；排水系统设置不完善、污水滞留于地道内影响人行通道环境卫生；车站内列车运行噪声超标；给水排水管道防腐、绝缘效果不佳发生渗漏现象，以及设备修理过程中的粉尘、有害气体等，影响工作人员身体健康。

1. 劳动安全措施

（1）防止水土流失　在工程施工期间，严格按照工程设计要求及土石方工程施工的有关规定、规范和规程开展工程施工，开挖后的断面按规定要求及时支挡防护、及时衬砌；开挖产生的土石方运至指定地点存放，不能随意弃置存放。

（2）合理设计　穿过房屋密集地段和桥梁、河流以及大型地下管道的地段，应收集详细的基础资料，对线路平、纵断面和地下结构进行精心设计，选用经济合理的施工方法，确保工程安全，以利于保证安全运营。

严格按照50年一遇城市设防洪水位设计，以防止洪水危及线路运营安全。

按照车辆（动态）限界制定设备限界和各类建筑限界，施工中严禁侵限，以求排除一切影响行车安全的因素。

当车站设置有楼梯口、围栏时，其高度设计应满足国家颁布的规范和劳动安全保护法规的有关规定要求。车站内地坪应选用耐磨防滑的材料铺砌面层，以利安全。

当车站设置有出口、楼梯、通道时，其通过能力应能保证当发生火灾等紧急情况时，在规定的时间内将整车的乘客以及站内候车人员及工作人员疏散完毕。所有的疏散通道内和重要房间内应设置应急照明，应急照明以蓄电池作为备用电源，容量满足疏散诱导照明和备用

照明供电的需要。

供电严格按照设计标准、规范对设备布置、设备接地、绝缘等进行设计，以保证所有设计满足标准、规范对安全的要求，杜绝电力故障对人身安全的危害。

变电所设备在满足技术条件要求的同时要保障运营的安全（尤其是人身安全），优先选用防火性能好、火灾时无有害气体产生、制作工艺成熟、技术先进、质量可靠、节能及免维护或少维护、体积小等安全性能好的产品。

高低压电力电缆和控制电缆均选用阻燃、防水、防紫外线的电缆。对于供电系统可能产生的故障，在设计中应采取较好的保障措施：中压供电网络在正常运行方式、故障运行方式、应急运行方式下均能满足远期高峰小时车行对数。当混合变电所任意一段母线退出运行时，另一段母线能够承担全部低压负荷。

易燃易爆场所照明采用防爆型灯具及开关。

大功率的高频电磁波对人体是有害的，设计无线通信信号系统时，在满足工程需要的前提下，尽量减少发射功率，严格控制电磁波辐射，减少对人身的伤害。

室外天线及所选设备的电源线均加防雷、防强电保护措施，保证人身和设备的安全；通信光缆采用防蚀、阻燃、低烟、低毒、防白蚁及防鼠害光缆；用于控制中心及车辆段的室内电缆采用阻燃、低毒、防腐蚀电缆，室外采用耐辐射、防腐蚀电缆。

车辆段内配备在线式电源屏（含 UPS）及可提供后备电源的蓄电池，蓄电池应选用低散发性、低腐蚀、密封电池；信号设备间配置较完善的空调、通风系统。通风、空调系统应满足车辆段工作人员对工作环境的温、湿度要求；当发生火灾时应具备排烟通风功能。

为了对工程火灾、水灾、风灾、地震和意外停车事故等灾害进行可靠的监视及报警，地下人行道、车辆段设置火灾自动报警系统，在车辆段设置火灾自动报警等系统中心（兼作车辆段的中心）。火灾自动报警系统设备选用经过国家消防质量监督检测部门检测合格并通报认定的产品，产品应具备技术先进、性能稳定、智能化程度高、组网灵活、易于扩展、体积小及布线简单的特点。消防系统应在沿线各车站及配套房屋均设置固定灭火器；沿线各车站内均设消火栓灭火系统。沿线各车站内的通信信号控制室、混合变电所及降压变电所设置固定式气体灭火装置。材料库、车辆段办公楼、检修库及运用库等按规范要求设消火栓灭火系统。控制中心设消火栓灭火系统及自动喷淋灭火系统。

（3）合理化管理　工程施工期间应遵守市政建设的规定，实施屏蔽封闭施工，以防非施工人员和车辆闯入施工现场，造成伤亡事故；施工人员应持证上岗，做到各负其责、各司其职，严禁无证上岗操作。易燃、易爆品及有毒有害物品的存放应向有关部门申报，并按照批准的存放地点和保管方式设专人管理。

（4）防止机械伤害　施工期和运营期各类机械作业均应按照有关规定、规程和标准采取安全防护措施，并加强机械设备（含车辆）维护和检修，杜绝设备因失检、失灵而带病运行；各种电器设备应有警示标志，以防设备过载或泄露时因设备损坏、燃烧、漏电等产生人员伤亡事故。加强线路日常养护及巡查工作，使线路轨距、水平、高低满足容许误差范围规定，道岔保持良好状态。

钢轨、扣件、道岔及整体道床等损坏应及时维修或更换。

如车站需设置有自动扶梯或电梯时，设备安装完毕使用前必须经过有关劳动安全卫生部门的检验许可才能使用，还应定期检查，以保证设备安全可靠。

停车列检库、洗车库等由于运用、检修需要接触网入库，在库前设置分断绝缘器与隔离开关，以及通电声、光报警信号，并设接地开关，配备自锁装置，保证库内、外接触网分离。对车辆段易产生有毒、有害气体的车间，根据工艺要求的需要设置机械通风设施，砂轮、机床等机械设备设计采用符合劳动安全标准的产品。

（5）卫生安全　人员的流动可能造成一些传染性疾病的传播，特别是施工人员的饮用水供应、吃饭、住宿等条件较简陋，人群流动性较大，可能导致一些消化道传染病、呼吸道传染病发生。施工期和运营期应加强防疫工作，做到预防为主，密切与防疫部门联系，定期采取防疫、消毒和固废物定期清理等措施，确保工作人员身体健康；保证车站内环境卫生状况良好，将项目建设对区域人群健康的影响降至最低。

2. 劳动卫生措施

1）弃土。工程施工弃砟（土）应引起高度重视，要严格按照政府所颁布的各项管理条例实施预防，避免由于管理不严，产生水土流失和扬尘污染环境。

2）污水。施工所产生的污水，通过沉淀处理达标后，按照市政管道管理部门指定的排放方式，排入指定的污水系统。施工期间产生的废气，应满足环保部门规定的排放标准，严禁超标排放。对产生有害气体、粉尘、油烟及废热等场所，应根据有害物质的特点、性质、数量和危害程度，考虑采取有效的消烟除尘和通风措施，配置必要的除尘、净化或回收装置，以保证施工场所及其周围环境空气达到国家环保、劳动卫生能源部门等有关法规、规定和标准的要求。

3）噪声。对操作高噪声、振动设备的工作人员，应配备隔音耳塞并对其设备采取加装减振垫等，以保证工作人员身体健康。

4）其他。车辆段及其他基地均设置卫生设施，包括环境绿化、厂房及生产房屋的采光、通风、空调和照明，以及生产过程中的“三废”处理、减振降噪措施、生活卫生设施和卫生医疗保健机构等。车辆段的维修、检修等生产车间及停车列检库等根据需要采取必要的通风措施，保证良好的工作环境。控制中心设有通风、空调系统，解决通风、防暑降温的问题。

3. 设备安全防护

（1）等电位接地和设备外壳接地　设置有效的接地装置：电器设备的金属外壳均应进行接地，以避免职工遭受接触电压的电击伤害；各车间及房间的插座均采用带 PE 线的 TN-S 接地保护系统，并设置漏电保护装置；供电系统均考虑故障自动切除功能，当发生设备故障时，及时切除故障设备，避免事故扩大，同时能自动投入备用设备，以保证安全用电。

（2）设置轨道电位限制装置　钢轨是电流的通路，经常带一定的电压，为保护人员的安全，均应设置限制轨道电位的装置。

（3）防止大气过电压和系统的操作过电压　供电系统均有防止过电压措施，如适当设置避雷器、避雷线，建筑物设避雷带；各电气设备均考虑设置过电压保护器。

（4）行车安全防护　运行区间、车辆段设置安全畅通的火灾自动报警系统，使灾害发生时能迅速反馈到指挥中心，以便及时组织，进行处理和救援。控制中心设置救灾指挥中心，设有专用通信包括电话，控制中心的供电应满足一级负荷的要求，有两路独立可靠的电源，供电质量符合规定，保证不间断电流。当事故发生时，控制中心应及时切断接触网电源，使疏散人员不会遭到电击的危害。

（5）操作人员安全培训计划　对工程运营后从事特种作业工种的工作人员，均应参加相应的培训，进行安全生产专门训练，经考试合格取得特种作业工种安全操作证书后，方准上岗操作。

12.3.2　消防工程

1. 消防设施研究

消防设施研究主要是分析项目在生产运营过程中可能存在的火灾隐患和重点消防部位，根据消防安全规范确定消防等级，并结合当地公安消防设施状况，提出消防监控报警系统和消防设施配置方案。

（1）火灾危险性分析　分析生产运营过程中所使用的燃料、原材料等的火灾危险性。

（2）调查项目场址周围消防设施状况　调查场址周边公安消防机构的规模、装备，所在地公安消防队与场址的距离等，确定项目对公安消防机构的依托程度。

（3）消防措施与设施　根据项目在生产运营过程中存在火灾隐患的部位、火灾危险类别以及可能波及的范围，确定应采用的消防等级，并结合项目场址周围消防设施状况，提出消防监控报警系统和消防设施配置方案。

2. 不同位置的消防设施

（1）车站及区间主要消防设施　车站的消防设施主要是根据消防设计原则，把消防设计技术规定用于不同类型的车站，各类车站消防设计还应符合国家有关消防设计规范的规定。

1）火灾自动报警系统（FAS）

① 地面车站不设置火灾自动报警系统。

② 变电所设置火灾自动报警系统，主要配置区域火灾报警控制器。

③ 控制中心与车辆段值班共同设置于调度大厅。控制中心主要设备配置如下：火灾报警控制器、工作站、打印机、直流备电、防灾设备手动控制盘、供电电源、接地盘、接口设备及电话等。

2）防灾通信

① 公务电话系统：在防灾专业相关人员处设置自动电话机，提供公务通信用。

② 调度电话系统：在控制中心防灾调度员处设调度总机、车辆段防灾值班室设调度分机；总机可对分机进行个别选择呼叫、分组呼叫和全部呼叫。

③ 防灾闭路电视监视可与生产的闭路电视监视合用。控制中心防灾调度员处有 CCTV（闭路电视）监控终端，各车站站台设摄像机，中心防灾调度员可任选全线各站的任一图像进行监视。

④ 无线通信系统：行车调度中心设置中心防灾值班员控制台，防灾分机用户（车辆防灾值班员、抢险救援基地、保安人员）配置移动通信设备。行车调度中心可对防灾分机用户进行选呼、组呼和全呼；防灾分机用户也可对行车调度中心进行一般呼叫和紧急呼叫。

（2）车辆段（交通枢纽）消防设施

1）建筑消防设施。

① 车辆段基地平面布置为环形消防通道，此环形消防通道平时为交通运输使用，且经过基地内每一幢建筑物；不能形成环状的道路尽端处设回车场。

② 车辆段各类车库（棚）、办公楼等的消防设计，参照 GB 50016—2014《建筑设计防火规范》的规定执行。

③ 车辆段内各类较大型的单层车库（棚）中的贮存物品为丁、戊类，且耐火等级为一、二级，故这些车库均单独按一个防火分区考虑。耐火等级为二级的其他建筑面积小于 8000m^2 的单层丙类车库也按一个防火分区考虑。

④ 车辆段段内办公楼及公寓等有关建筑的防火分区按 2500m^2 考虑。

⑤ 车辆段内的变电所、综合控制室等重要电气设备房间，应按防火规范规定，设有防火墙及甲级防火门。

⑥ 建筑装修采用不燃和无毒的装修材料。

2）车辆段的防排烟系统。车辆段内的各类单体库房及用房均尽量采用自然排烟系统，如果不能满足自然排烟，需要设置机械排烟；当部分单体的地下建筑部分不满足设置自然排烟系统的要求时，应根据规范要求设置机械排烟系统。排烟系统选用消防高温排烟风机和风机软接头，保证在 280℃时能连续工作 30min。在排烟风机入口总管上设有 280℃能自动关闭的排烟防火阀，且与排烟风机联锁。排烟口与最不利排烟点水平距离不超过 30m。与排烟管道、风阀、风口均采用不燃材料制作。

3）车辆段的消防给水系统

① 车辆段基地内消防用水量，室内最大为 15L/s，室外最大为 20L/s。

② 如果车辆基地城市自来水压力不能满足消防水压的要求，应在基地内设消防泵房和消防水池，其水池应能保证基地内 2h 的生产、生活和消防用水量。

③ 基地消防水源可采用城市自来水，并由城市自来水管引入两根 DN200 的城市自来水管。

④ 车辆段基地室外设计为室内、室外共用的消防环状供水管网，每隔 120m 设一个室外消火栓。

⑤ 消防泵房设两台消防泵，并设稳压装置，消防泵的控制为集中、就地、压力和利用消火栓按钮控制。

4）车辆段的火灾自动报警系统。车辆段基地采用集中火灾自动报警系统，设一台集中火灾报警控制器和若干台区域控制器，通过总线与被监视建筑内探测器、手动火灾报警按钮和消火栓按钮可实现全段重要建筑物 24h 的火情监视、记录、显示。系统设有防灾电话的对讲系统，实现火灾早期自动报警，及时抢险救灾，把损失减少到最小。火灾自动报警保护等级：车辆基地车辆运用库、其他重要用房按火灾报警一级保护对象设计，车辆基地一般生产和办公用房按火警报警二级保护对象设计。

5）应急照明。车辆段基地的停车列检库、月修静调库、定架修库、办公楼及信号楼等设应急照明，疏散照明照度标准为不小于 1LX。

（3）现代有轨电车控制中心　应按我国有关建筑设计防火规范的规定，做好建筑防火设计，并设置消防给水系统、自动喷水灭火系统、气体灭火系统、通风排烟系统、自动报警及监控系统、防灾通信系统，并单独设消防控制室。

第13章 现代有轨电车项目实施

合理、科学地确定项目组织机构和配置人力资源是保证项目建设顺利进行、提高劳动效率的重要条件，需要对项目组织机构设置、人力资源配置、员工培训等内容进行研究、比选和优化方案。通过对项目情况的分析，依据相关工程技术要求，提出项目实施的进度分析。

13.1 组织机构的设置

组建相应的组织机构来完成工程的“质量控制、进度控制、投资控制、合同管理、信息管理、组织协调”的任务。通过工程招标、投标，选出较好的设计、施工、监理、建设、科研单位来完成本工程的建设任务。建设管理组织机构的设置如图 13-1 所示。

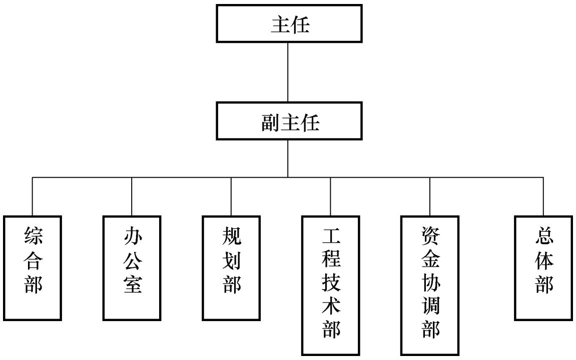


图 13-1 建设管理组织机构的设置

13.2 机构适应性评价

进行适应性分析，主要分析项目法人的组建方案是否符合《中华人民共和国公司法》和国家有关规定的要求；项目执行机构是否具备指挥能力、管理能力和组织协调能力；组织机构的层次和运作方式能否满足建设的要求；项目法人代表及主要经营管理人员的素质能否适应项目建设的要求，能否承担项目筹资建设的责任。

13.3 人力资源的配置

在组织机构设置方案确定后，应研究确定各类人员，包括生产人员、管理人员和其他人员的数量和配置方案，以满足项目建设的需要，为提高劳动生产率创造条件。

1. 人力资源配置的依据

1）国家有关劳动法律、法规及规章。

2）项目建设规模。

3）生产运营复杂程度与自动化水平。

4）人员素质与劳动生产率要求。

5）组织机构设置与生产管理制度。

6）国内外同类项目的情况。

2. 人力资源配置的内容

1）研究制定合理的工作制度与运转班次，根据生产过程的特点，提出工作时间、工作制度和工作班次方案。

2）研究员工配置数量，根据精简、高效的原则和劳动定额，提出配置各职能部门、各工作岗位所需人员数量。

3）研究确定各类人员应具备的劳动技能和文化素质。

4）研究测算职工工资和福利费用。

5）研究测算劳动生产率。

6）研究提出员工选聘方案，特别是高层次管理人员和技术人员的来源和选聘方案。

3. 人力资源配置的方法

不同岗位，人力资源配置的方法不同，主要有以下几种：

1）按劳动效率计算定员，即根据生产任务和生产人员的劳动效率计算生产定员人数。

2）按设备计算定员，即根据设备的数量、工人操作设备定额和生产班次等计算生产定员人数。

3）按劳动定额定员，即根据工作量或生产任务，按劳动定额计算生产定员人数。

4）按岗位计算定员，即根据设备操作岗位和每个岗位需要的工人数计算生产定员。

5）按组织机构职责范围和业务分工计算管理人员的人数。

13.4 项目实施进度

13.4.1 建设工期的确定

项目工程建设方案确定后，应研究提出项目的建设工期和实施进度方案，科学组织建设过程中各阶段的工作，按工程进度安排建设资金，保证项目按期建成投产，发挥投资效益。

在建设期内完成土建施工与装修、轨道铺设、设备安装、单系统调试、全线各设备系统联动调试以及试运行等方面的工作。项目建设工期结合项目建设内容、工程量大小、建设难易程度以及施工条件等具体情况综合研究确定。

13.4.2 实施进度的安排

依据情况确定计划总工期。在建设期内完成土建施工与装修、轨道铺设、设备安装、单系统调试、全线各设备系统联动调试以及试运行等方面的工作。主要的时间节点如下：

1）项目开工建设。

2）现代有轨电车实现轨通（除部分下穿节点）。

3）现代有轨电车线路开始联调联试，车辆上线试运行。

4）根据联调联试情况，现代有轨电车载客试运营。

13.4.3 施工组织与计划

1. 前期准备工作

通常，现代有轨电车工程建设指挥部负责工程的组织与实施，统筹协调与市各行政主管部门、周边环境的关系，落实规划、消防、公交、管线迁移、征地拆迁等条件，统筹处理设计、施工中的重大问题，落实建设资金计划，编制材料、土建工程、机电设备、车辆等供应、建设计划以及工程招标、投标等工作。为此，应做好技术准备、施工准备和组织工作。

2. 技术准备

技术准备是工程设计工作开展的基础，主要包括以下内容：

1）沿线工程地质钻探及工程、水文地质勘察报告。

2）沿线地形图的补测及修测。

3）进行相关地区的管线调查及资料收集。

4）进行相关地区的建筑物、构筑物调查及资料收集。

5）本项目的环境评估和节能评估。

6）加强与城市规划、国土、消防、交通、环保、管线主管、供电、水务、交警等部门及地方政府的联系，协调相互间的关系，办理工程项目的申报、报建工作。

3. 施工准备

施工前期的准备工作主要围绕施工现场的“三通一平”和征地借地、管线迁移开展。为保证工程按期开工，要切实做好施工前的准备工作，应在沿线地方有关部门的密切配合下，按工程筹划的进度要求提前组织实施。

主要包括以下几项工作：

1）征地、借地以及绿化搬迁。

2）交通疏导及管线改迁与保护。

3）施工场地的落实及平整。

4）落实施工用水、用电、通信。

5）落实弃砟场地

（1）组织准备　组建相应的组织机构来完成工程的“质量控制、进度控制、投资控制、合同管理、信息管理、组织协调”的任务。通过工程招标、投标，选出较好的设计、施工、监理、建设、科研单位来完成本工程的建设任务。

（2）工程施工组织

1）充分利用以往施工经验和施工力量，围绕“轨通、电通、车到”合理安排工期。

2）抓紧征地拆迁、交通组织等前期准备工作，为尽早开工创造条件。

3）优先安排控制全线工程进度项目的招标开工。

（3）工程招标

1）招标原则。业主或委托招标代理机构按照国家有关法律、法规、相关政策，坚持公开、公平、公正、诚信、透明的原则进行招标。

2）招标范围。工程中设计和部分系统性、专业性很强的设备采购建议采用招标、投标的方式，同时前期工作中的征地拆迁、管线改移，以及政府专业管理部门承担的部分前期工作和个别特殊工程不采用招标，可采用直接委托的方式。其他工程勘察、施工、设备系统安装、部分设备及材料采购均按照国家招投标法采用公开招标，确定勘察、土建施工、工程监理单位和设备安装单位及供货商。

（4）招标内容　工程的招投标通常主要包括五大部分：勘察设计招投标、土建工程招投标、工程监理招投标、主要设备（含车辆）采购招投标、设备安装招投标。其中，工程若选用的现代有轨电车车辆为钢轮钢轨系统，而限于目前国内现代有轨电车车辆生产厂家、生产能力及技术水平，在生产厂家的考察和选择上有很大的局限性，车辆招标工作应提前开始，为下阶段设计工作顺利进行创造条件，建议业主尽早确定生产厂家，使车辆制造厂商有较充足的时间来消化吸收有关技术以及和配件供应厂商谈判，保证车辆如期到货。

（5）工程采购　现代有轨电车工程是以机电设备为主导的工程，应提早进行机电设备选型，按计划采购供货，以保障安装工程顺利进行。

4. 管线改迁与施工用地

（1）主要管线改迁　在工程设计时应通过站位、施工方法的综合技术经济比较，本着尽量减少对管线的影响，力求总体最优的原则进行管线改迁。对不可避免改迁的管线，在取得和相关管理部门的联系与支持下，共同确定是永久迁移、临时迁移或就地保护方案，组织安排实施，在工程筹划的时间内处理好相关管线，并尽量减少对城市居民生活的影响。

管线的防护在施工单位进驻现场时，应按该市安全文明的有关规定开展工作，人工挖探槽，探明场地范围内的管线情况，并在地面安装明显标志，对于悬挂的管线应做好保护措施；在施工期间应在管线位置设置观测点，根据各管线部门的要求确定警戒值和极限值，定期或不定期进行观测，对所得数据进行分析，发现问题及时采取有效措施进行处理。

（2）征地拆迁　征地拆迁是一项涉及面广、制约关系复杂的系统工程，而且直接影响工程建设的顺利开展，因此应由专门机构来统一协调，安排实施。在施工单位进场前，业主应委托拆迁单位按政府部门批准的用地范围，办理借地、征地手续。

（3）施工占用道路　工程的施工场地占道程度对地区的交通有一定影响。由于通常情况下现代有轨电车项目的工程走向基本沿城市道路延伸，铺设于路中绿化隔离带或利用路中机动车道，因此线路沿线以及车站的施工均需占用城市道路。通常，根据施工占用道路的程度将其分为三种情况：

1）完全占用道路。这种情况对道路交通的影响表现为：道路完全断流，车辆需绕道行驶，从而增加其他道路的交通压力，并有可能导致相连道路成为断头路；影响周边建筑物的出入交通，包括停车库机动车和行人出入；影响两侧人行道行人的正常通行；需调整途径的公交线路，给市民出行带来不便；改变现有的交通设施，对周边的环境产生影响。此种情况对城市交通的影响最大，道路交通组织需慎重考虑。

2）占用部分道路。这种情况对道路交通的影响表现为：道路部分被占用，容易形成交通瓶颈，道路通行能力减小；影响周边建筑物的对外交通，包括停车库机动车和行人的出入；影响两侧人行道行人的正常通行；公交停靠设施可能需迁移，增加市民出行距离。同样，这种情况对周边的交通环境影响较大，也需慎重考虑。

3）基本不占用道路。此种情况对道路交通的影响相对较小，但出入施工场地的车辆可能会对相邻道路的交通产生一定的影响。

5. 交通组织

交通组织包括两个方面，社会车流的组织和施工运输的组织。施工期间对所经路段以及相交道路的机动车、非机动车以及行人交通影响较大，因此在下阶段的设计过程中必须做好施工过程中的交通组织方案，特别是施工时有大量工程材料要运输且占用现状道路时，事先要与交通管理部门协商确定大宗构件和大型设备及土石方的运输路线及时间，以减轻对现状道路造成的交通压力，把施工期间对城市交通的干扰减小到最低程度。

6. 工程监理

为保障工程项目建设的质量必须设置工程监理。工程监理是工程建设不可缺少的一个部分，是工程实施过程中设计、施工、业主三者之间关系的协调者，他们根据建设项目要求进行“三控制、两管理、一协调”工作。应在施工招标前进行施工监理的招标工作，以便监理单位协助业主进行施工标段的编制，草拟施工合同，对施工全过程进行跟踪监理。

7. 试运行计划

为了确保线路建成后尽快投入试运行，发挥项目的投资效益，应提早明确运营管理模式和运营管理部门。运营管理部门应考虑以下措施：

1）派出人员跟踪工程建设初步设计、施工图设计以及土建施工、机电设备安装工程各个阶段，了解设计的意图，掌握隐蔽工程的实施情况。

2）根据设计意图及国内外已建现代有轨电车运营管理的经验，制订本线运营管理模式，编制运营管理和各种规章制度。

3）参与设备调试工作，为工程移交接管做好充分准备。

4）提前做好人员的培训、机构配置工作，通过全方位的演练，使运营管理尽早达到上岗要求。

13.4.4　项目实施进度

现代有轨电车工程进度见表 13-1。

表 13-1　现代有轨电车工程进度表

序　号	任　务	工　期	开始时间	完成时间	时间进度条
1	可研报告编制				
1.1	基础资料收集				
1.2	可行性研究报告文件编制				
1.3	各项专题报告				
1.4	可研报告评审				
1.5	可研报告批复				

（续）

序　　号	任　　务	工　　期	开 始 时 间	完 成 时 间	时间进度条
2	初步设计				
2. 1	地形地质勘查				
2. 2	初步设计				
2. 3	初步设计评审				
3	招投标				
3. 1	勘察设计招投标				
3. 2	土建及设备系统招投标				
4	车辆工程				
4. 1	列车生产、运输及调配				
4. 2	车辆调试				
5	施工图设计				
5. 1	施工图设计（土建）				
5. 2	施工图设计（设备系统）				
6	土建施工				
6. 1	施工准备				
6. 2	土建工程				
7	设备安装及装修工程				
8	轨道铺设				
9	接触网架设				
10	热滑				
11	全线联动调试				
12	试运行				
13	通车试运营				

第14章 投融资及财务分析

14.1 投资估算

投资估算是在对项目的建设规模、技术方案、工程建设方案、项目进度计划等进行研究并基本确定的基础上，对项目总投资及各分项投资数额进行的估算。投资估算的结果是确定融资方案、筹措资金数额的重要依据，也是进行财务分析和经济分析的基础。

1. 投资估算的范围

投资估算的范围包括全线的车站、区间、房屋、轨道和其他各类工程的建筑工程费用，各系统的设备及安装工程费用，工程建设其他费用，基本预备费，车辆购置费，建设期贷款利息，铺底流动资金等全部费用。

2. 建设投资估算

（1）采用定额

1）四电工程。

2）轨道工程。

3）道路工程。

4）其他工程。

（2）各项费用标准

1）工、料、机价格取定：轨道及四电工程采用季度信息价，不足的部分采用调查价格；其他工程采用市场指导价。

2）设备价格：编制期设备原价根据调查资料确定，缺项设备自行补充。设备运杂费以基期设备原价为计算基数。

（3）其他费用　工程建设其他费用依据有关规定，并结合工程实际情况计列。

1）建设管理费：

① 建设单位管理费按第一部分工程费用总值的一定比例计列。

② 建设工程监理与相关服务费按有关规定计列。

③ 招标代理服务费按有关规定计列。

2）前期工作费包括项目预可、工可费用，环境影响评价、劳动安全卫生评价、工程场地安全和地震安全性评价、地质灾害危险性评价、客流预测及评审、沿线土地资源评估、交通影响评价、水土保持评价等专题研究费用，按照工程费用的一定比例计列。

3）研究试验费按有关规定计列。

4）勘察设计费按有关规定计列。

① 勘察费。

② 设计费。

③ 施工图预算编制费按设计费的一定比例计列。

④ 竣工图编制费按设计费的一定比例计列。

⑤ 工程保险费按工程费用总值的一定比例计列。

⑥ 施工图审查费按照设计费的一定比例计列。

⑦ 引进技术和进口设备其他费根据设计估列。

⑧ 联合试运转费按设备和车辆购置费用总额的一定比例计列。

⑨ 市政公用设施费按专业设计计列。

⑩ 配合辅助工程费按专业设计计列。

⑪工程造价咨询服务费按工程费用总值的一定比例计列。

5）生产准备及开办费：

① 生产职工培训费按初期定员一定比例计列。

② 办公和生活家具购置费按初期定员人数一定比例计列。

③ 工器具购置费按初期定员人数一定比例计列。

④ 安全生产保障费按建筑安装工程费一定比例计列。

⑤ 运营筹备费及试运营费依设计定员计列。

⑥ 施工配合费按照设计计列。

6）预备费：

① 基本预备费依据有关规定计列。

② 工程造价增长预备费依据有关规定计列。

7）建设期投资贷款利息专项费用根据有关规定和对项目筹资方案、建设工期安排来确定。

8）机车车辆购置费根据专业提供机车、车辆数量及单价计列。

9）铺底流动资金按配车数量计列。

3. 流动资金估算

流动资金是指项目运营期内长期占用并周转使用的营运资金，不包括运营中临时性需要的资金。在前期研究中的不同阶段选用扩大指标估算法或分项详细估算法估算，在可行性研究阶段，通常采用分项详细估算法估算，其工作量较大，但准确度较高。

分项详细估算法是对流动资产和流动负债主要构成要素，即存货、现金、应收账款、预付账款、应付账款、预收账款等项内容分项进行估算，最后得出项目所需的流动资金数额。计算公式如下：

流动资金 = 流动资产 − 流动负债

流动资产 = 应收账款 + 预付账款 + 存货 + 现金

流动负债 = 应付账款 + 预收账款

流动资金本年增加额 = 本年流动资金 − 上年流动资金

流动资金估算的具体步骤：首先，确定各分项的最低周转天数，计算出各分项的年周转

次数；然后再分项估算占用资金额。

4. 投资估算表（见表 14-1、表 14-2）

表 14-1 总估算表

<table>
<tr><td>建设名称</td><td colspan="2"></td><td>编制范围</td><td colspan="3">全线</td><td>编号</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>工程总量</td><td colspan="2">km（正线）</td><td>估算总额</td><td colspan="3">万元</td><td>技术经济指标</td><td colspan="4">万元/km（正线）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">章号</td><td rowspan="2">工程及费用名称</td><td rowspan="2">单位</td><td rowspan="2">数量</td><td colspan="5">估算价值/万元</td><td rowspan="2">外汇</td><td rowspan="2">指标/万元</td><td rowspan="2">费用比例（%）</td></tr>
<tr><td>Ⅰ 建筑工程</td><td>Ⅱ 安装工程</td><td>Ⅲ 设备工器具</td><td>Ⅳ 其他费用</td><td>合计</td></tr>
<tr><td colspan="12">第一部分 工程费用</td></tr>
<tr><td>一</td><td>车站</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>二</td><td>区间</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>三</td><td>轨道</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>四</td><td>通信</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>五</td><td>信号</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>六</td><td>供电</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>七</td><td>综合监控</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>八</td><td>防灾报警、环境与设备监控</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>九</td><td>安防及门禁</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>十</td><td>通风、空调与采暖</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>十一</td><td>给水、排水与消防</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>十二</td><td>自动售检票</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>十三</td><td>车站辅助设备</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>十四</td><td>运营控制中心</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>十五</td><td>车辆段与综合基地</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>十六</td><td>人防</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="12">第二部分 工程建设其他费用</td></tr>
<tr><td>十七</td><td>工程建设其他费用</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="12">第三部分 预备费</td></tr>
<tr><td>十八</td><td>预备费</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="12">第四部分 专项费用</td></tr>
<tr><td rowspan="4">十九</td><td>专项费用</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>一、车辆购置费</td><td>辆</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>二、建设期贷款利息</td><td>万元</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>三、铺底流动资金</td><td>万元</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">项目总投资</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

表 14-2　综合估算表

建设名称			编制范围	全线			编号			
工程总量	km（正线）		估算总额	万元			技术经济指标	万元/km（正线）		
章号	工程及费用名称	单位	数量	估算价值/万元					其中外汇/万美元	指标/万元
				Ⅰ 建筑工程	Ⅱ 安装工程	Ⅲ 设备工器具	Ⅳ 其他费用	合计		
第一部分　工程费用		km（正线）								
一	车站	km（正线）								
二	区间	km（正线）								
三	轨道	km（正线）								
四	通信	km（正线）								
五	信号	km（正线）								
六	供电	km（正线）								
七	综合监控	km（正线）								
八	防灾报警、环境与设备监控	km（正线）								
九	安防及门禁	km（正线）								
十	通风、空调与采暖	km（正线）								
十一	给水、排水与消防	km（正线）								
十二	自动售检票	km（正线）								
十三	车站辅助设备	km（正线）								
十四	运营控制中心	m^2								
十五	车辆段与综合基地	km（正线）								
十六	人防工程									
一～十六章合计		km（正线）								
第二部分　工程建设其他费用		km（正线）								
十七	工程建设其他费用	km（正线）								
	建设用地费	万元								
	一、征地	亩①								
	二、临时用地	亩①								
	三、拆迁	m^2								
	其他费用	km（正线）								
	一、场地准备及建设单位临时设施费	万元								
	三通一平	万元								

（续）

建设名称			编制范围	全线			编号			
工程总量	km（正线）		估算总额	万元			技术经济指标	万元/km（正线）		
章号	工程及费用名称	单位	数量	估算价值/万元					其中外汇/万美元	指标/万元
				Ⅰ 建筑工程	Ⅱ 安装工程	Ⅲ 设备工器具	Ⅳ 其他费用	合计		
十七	二、建设管理费	万元								
	1. 建设单位管理费	万元								
	2. 工程建设监理费	万元								
	3. 工程招标服务费	万元								
	三、勘察、设计、施工图审查费	万元								
	1. 前期工作费	万元								
	2. 勘察费	万元								
	3. 设计费	万元								
	4. 施工图审查费	万元								
	四、咨询费	万元								
	1. 咨询费（不含造价咨询）	万元								
	2. 造价咨询服务费	万元								
	五、研究试验费	万元								
	六、引进技术及引进设备其他费	万元								
	七、联合试运转费	万元								
	1. 调试费	万元								
	2. 试运转费	万元								
	八、生产准备及开办费	万元								
	1. 生产职工培训费	万元								
	2. 生产办公、生活家具用具购置费	万元								
	3. 工器具购置费	万元								
	4. 运营筹备费	万元								
	九、工程保险费	万元								
	十、安全生产费	万元								

（续）

<table>
<tr><td>建设名称</td><td colspan="2"></td><td>编制范围</td><td colspan="3">全线</td><td>编号</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>工程总量</td><td colspan="2">km（正线）</td><td>估算总额</td><td colspan="3">万元</td><td>技术经济指标</td><td colspan="3">万元/km（正线）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">章号</td><td rowspan="2">工程及费用名称</td><td rowspan="2">单位</td><td rowspan="2">数量</td><td colspan="5">估算价值/万元</td><td rowspan="2">其中外汇/万美元</td><td rowspan="2">指标/万元</td></tr>
<tr><td>Ⅰ 建筑工程</td><td>Ⅱ 安装工程</td><td>Ⅲ 设备工器具</td><td>Ⅳ 其他费用</td><td>合计</td></tr>
<tr><td colspan="2">第三部分　预备费</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">十八</td><td>预备费</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>基本预备费</td><td>万元</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">第四部分　专项费用</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">十九</td><td>专项费用</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>一、车辆购置费</td><td>辆</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>二、建设期贷款利息</td><td>万元</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>三、铺底流动资金</td><td>万元</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">项目总投资</td><td>km（正线）</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

① 1 亩 = 666.67m^2。

14.2 融资方案

融资方案研究是在已确定建设方案并完成投资估算的基础上，结合项目组织实施和建设进度计划进行的，应根据研究的结果构造融资方案，进行融资结构、融资成本和融资风险分析，再优化融资方案。

14.2.1 资本金筹措

根据国务院相关文件规定，轨道交通项目资本金比例不低于 20%，在条件允许的情况下，应尽量加大项目资本金占总投资的比例，以期轨道交通投入运营后有较好的运营效益。

政府的资金来源一般包括政府预算内财政资金、城市建设专项资金、土地转让收益以及城市人防专项资金等。根据我国其他城市轨道交通工程建设经验，沿线各区政府还可以通过征地拆迁或土地使用权转让获取收益（以资产或现金的形式），以资本金形式用于轨道交通建设。项目资本金还可以政府出让沿线上盖空间资源开发的地价解决，项目资本金与项目配套资金的投资回收统一考虑测算。

14.2.2 债务资金筹措

1. 应考虑的主要问题

在制订债务资金筹措方案时，应考虑的主要方面有：

1）债务期限。债务期限应根据资金使用计划和债务偿还计划及资金成本的高低进行合理的设计与搭配。

2）债务偿还。需要事先确定一个比较稳妥的还款计划。

3）债务序列。债务安排可以根据其担保程度分为由高到低不同等级的序列，在出现违约的情况下，按照相应的债务序列进行偿还。

4）债券保证。债权人为了保障其权益，需要有一些能够巩固其债权人地位的措施，使其权益不受侵犯，到期能收回本息。为此，需要债务人及涉及的第三方对债权人提供履行债务的特殊保证，这就是债权保证。

5）违约风险。债务人违约或无力清偿债务时，债权人追索债务的形式和手段及追索程度决定了债务人违约风险的大小。根据融资安排的不同，债权人追索债务可分为完全追索、有限追索和无追索。

2. 应明确的基本要素

在融资方案中，除了要明确列出债务资金来源及融资方式之外，债务资金还应当明确一些基本要素，以及债务人的债权保证：

1）时间和数量。要指出每项债务资金可能提供的数量及初期支付时间，贷款期及宽限期，分期还款的类型（等额分期偿还本金、等额分期偿还本息或其他形式）。

2）融资成本。反映融资成本的主要基本要素，对于贷款来说是利息，对于租赁来说是租金，对于债券来说是债息。

3）建设期利息的支付。建设期内是否需要支付利息将影响筹资总量，因此需要说明债权人的要求是什么。不同的债权人会有不同的付息条件，一般分为三种：第一种，投产之前不必付息，但未清偿的利息要和本金一样计息（即复利计息）；第二种，建设期内利息必须照付；第三种，不但利息照付，而且贷款时就以利息扣除的方式带出资金。

4）附加条件。对于债务资金的一些附加条件应有所说明，借外债时，对所借币种及所还币种有何限制。

5）债权保证。应根据所处的研究阶段，对债务人及有关第三方提出的债权保证加以说明。

6）利用外债的责任。依据相关要求予以明确。

14.2.3　融资方案分析

现代有轨电车项目具有以下的经营特点：项目运营具有时空局限性，盈利空间有限；项目权益具有放大性，资产的保值增值能力强；项目沿线商业开发具有放大性、网络性；项目具有巨大、稳定、增长的现金流收入。因此，政府可通过采取多种转移支付政策手段，把现代有轨电车带来的外部效益内部化，建立项目投资、运营所需的稳定资金来源。参照地铁项目的经验，通常在投融资模式上可采取以下两种方式：

（1）政府主导负债型投融资方式　采取政府投资主体负债型融资方式，在政府提供一定资本金基础上，充分发挥政府信用，利用多元化的债务融资手段，降低融资成本，短时间内筹措巨额建设资金，确保完成项目的建设任务；在项目运营期内，通过多种手段统筹解决项目的还本付息问题。采用此种投融资方式，需要政府财政先期进行现金投入，利用杠杆作用带动大部分债务资金完成项目建设。

（2）政府主导的市场化投融资方式　在政府的主导下，采取PPP（公私合作关系，public-private partnership）模式引入战略投资人。该模式主要指公共机构与民营机构通过协议形成合作伙伴关系，共同投资建设、运营公共设施项目。这种模式可充分吸引社会投资，促进项目建设、运营领域的多元化、市场化，引入适度竞争机制，提高资金使用效率，提升建设运营水平。政府将与投资人共享投资收益，共担投资风险和责任。在此种运作模式下，项目公司将有别于传统轨道交通建设运营公司，其所负责的主要工作除了建设、运营和维护轨道线路，还将负责通过对沿线板块定位梳理和对重要站点周边土地提出利用优化建议，达到使沿线土地出让价值增值的效果。在此基础上，市政府将部分沿线土地增值收益以现金方式补偿给项目公司，补偿现代有轨电车建设投资缺口，以实现其财务平衡。采用此种投融资模式，需政府部门的有力支持，建立清晰和完善的法律、法规体系，规范合作制度以及PPP交易流程；建立项目的成本体系和票价调整机制，使得政府的资本金投入、财政补贴的适度投放有据可依；实施真正的引入市场竞争机制，为引入社会投资者创造完善的市场环境；同时，需要专业化机构和人才的支持。

14.2.4　融资风险分析

1. 经营风险

经营风险指企业固有的预期未来经营收益或息税前收益的不确定性。对于现代有轨电车项目而言，决定经营风险的因素主要如下：

1）客流量的变化。在其他条件不变的情况下，客流量越稳定，其经营风险越小。

2）票价的变化。由于现代有轨电车票价的变化直接影响客流量，故票价越稳定，其经营风险越小。

3）运营成本的变化。现代有轨电车运营成本相对稳定，对经营风险影响较小；但如果企业的成本大部分是固定成本，当客流量下降时，固定成本并不降低，经营风险将较高。因此，运营成本中固定成本比重越大，则经营风险越大。

2. 财务风险

财务风险指全部资本中债务资本比率的变化带来的风险。现代有轨电车项目融资中债务资本具有相当比重，具有一定的财务风险，万一银行加息，将较大的增加公司还本付息的压力。

因此，要降低项目融资风险，既要设法降低经营风险，又要设法降低财务风险。由于现代有轨电车运营固定成本比重大且难以改变，其经营风险较大，要降低经营风险，必须在投资决策中正确地预测客流量的变化。同时现代有轨电车项目不可避免地要进行负债融资，给运营企业带来一定的财务风险，要降低财务风险，投资者在项目融资时要尽量选择合理的债务融资手段及金融产品。

14.3　财务评价

财务评价，又称财务分析，是项目决策分析中为判定项目财务可行性所进行的一项重要工作，是项目经济评价的重要组成部分，其结论是投融资决策的重要依据。

14.3.1　财务评价的内容及参数选择

财务评价是在现行会计规定、税收法规和价格体系下，通过财务效益和费用（收益与支出）的预测，编制财务报表，计算评价指标，考察和分析项目的财务盈利能力、偿债能力和财务生存能力，据以判断项目的财务可行性，明确项目对财务主体及投资者的价值贡献。

1. 财务分析的内容

1）选择分析方法。在明确项目评价范围的基础上，根据项目性质和融资方式选取适宜的财务分析方法。

2）识别财务效益与费用范围。项目财务分析的利益主体主要包括项目投资经营实体和权益投资方。对于不同利益主体，项目带来的财务效益和费用范围不同，需要仔细识别。

3）测定基础数据，估算财务效益和费用。选取必要的基础数据进行财务效益与费用的估算，包括营业收入、成本费用估算和相关税金估算等，同时编制相关辅助报表。

4）编制财务分析报表和计算财务分析指标进行财务分析，主要包括盈利能力分析、偿债能力分析和财务生存能力分析。

5）在对基本方案进行财务分析后，还应进行盈亏平衡分析和敏感性分析。常常需要将财务分析的结果进行反馈，优化原初步设定的建设方案，有时需要对原建设方案进行较大调整。

2. 财务评价原则

1）遵循有无对比原则。

2）以动态分析为主、静态分析为辅，定量分析为主、定性分析为辅的基本原则。

3）遵循效益与费用计算口径一致的原则。

4）遵循谨慎的原则。

为简化计算，评价期内价格均不考虑上涨因素，建设期内价格按现行价格计算，运营期内价格按建设期末或运营期初年计算。

3. 项目计算期的分析确定

项目财务效益和费用的估算涉及整个计算期的数据。项目计算期是指对项目进行经济评价应延续的年限，是财务分析的重要参数，包括建设期和运营期。

（1）建设期　评价用的建设期是指从项目资金正式投入起到项目建成投产止所需要的时间。建设期的确定应综合考虑项目的建设规模、建设性质、项目复杂程度、当地建设条件、管理水平与人员素质等因素，并与项目进度计划中的建设工期相协调。

（2）运营期　评价用运营期应根据多种因素综合确定，包括行业特点、主要装置或设备的经济寿命期（考虑主要产出物生命周期、主要装置无力寿命、综合折旧年限等）等。财务评价相关基础数据见表 14-3。

表 14-3　财务评价相关基础数据

阶　段	初　期	近　期	远　期
客流量/(万人次/日)			
平均运距/(km/人次)			
年行车/(万 km/年)			

（续）

阶　　段	初　　期	近　　期	远　　期
配车/辆			
车辆单价/(万元/辆)			
年用电量/(万 kW · h/年)			
生产人员/人			

14.3.2　运营收入估算

1. 票价测算

票价与项目本身的盈利能力和清偿能力相关，并直接影响项目的内部收益率等评价指标。它的制订需综合考虑企业运营成本、乘客收入水平、可替代其他交通工具的价格水平以及乘客的出行习惯等因素。

2. 运营收入

项目财务分析主要以运营票价收入为主，其他收入为辅。

（1）运营票价收入　运营票价收入 = 客运票价 × 客运量。

（2）其他业务收入　为了支持现代有轨电车建设，沿线开发商业、车站冠名权、车厢、车站等广告收入可暂按票价收入的 10% 计算。

（3）补贴收入　企业从政府无偿取得的货币资产或非货币性资产称为政府补助，并按照是否形成长期资产分为资产相关的补助和收益相关的补助。

14.3.3　成本费用估算

1. 成本估算

（1）运营成本　项目运营成本主要包括：职工薪酬、电力费、设备维修费、车辆维修费、运营费、企业管理费及其他费用支出。

1）职工薪酬。运营期初人均薪酬当地工资水平及生活水平等因素综合考虑。

2）电力费。指为保证运营所必需的牵引动力用电和照明用电费用。运营电价与当地电力供应部门协商确定。

3）综合维修费。包括车辆日常维修费和车辆大架修费、机电设备维修费、土建工程维修费等。

参照相关运营经验，车辆大架修费率约为 2% （以车辆购置费为基数）；其他综合维修费指标约为 1.5 元/(车 · km)。

4）运营费。包括车务费、站务费、差旅费、生产消耗用品开支等。参考相关运营经验计算。

5）管理费。包括公司经费、咨询费及其他管理费等。通常占以上各项总和的 5% 。

6）基本折旧。包括土建设备固定资产折旧和车辆固定资产折旧。

7）借款利息。项目借款分为长期借款年利率、短期借款年利率。

（2）税费估算

1）营业税。根据国家规定及公交计税现状计列。

2）城市维护建设税。按国家规定计列。

3）教育费附加。按国家规定计列。

4）所得税。所得税税率按要求计算。

以上前三种税从运营收入中扣除，列在营业税金及附加项目内。

2. 财务基准收益率确定

参照目前已立项的类似审查基准收益率的取值和《市政公用设施建设项目经济评价方法与参数》，确定项目财务基准收益率。

14.3.4　财务分析

财务分析在财务效益与费用的估算以及编制财务报表的基础上，考察分析项目的盈利能力、偿债能力和财务生存能力，判断项目的财务可行性。

1. 盈利能力分析

盈利能力分析，主要考察项目本身及投资各方的盈利水平，盈利能力分析指标见表 14-4。

表 14-4　盈利能力分析指标

序　　号	名　　称	指标计算结果	备　　注
1	项目投资 FIRR（所得税前）		
2	项目投资 FNPV（所得税前）/万元		
3	项目投资回收期（所得税前）/年		
4	国内长期贷款偿还期/年		

2. 偿债能力分析

根据财务评价报表、计算借款偿还期或者利息备付率和偿债备付率，分析拟建项目自身偿还债务的能力。计算出的项目偿债能力指标，表示项目用自身的各项收益（包括折旧）抵偿债务的最大能力，显示项目对企业整体财务状况的影响。

3. 财务生存能力分析

财务生存能力分析旨在分析考察有项目时，项目在整个计算期内的资金充裕程度，分析财务可持续性，判断在财务上的生存能力。财务生存能力分析主要根据财务计划现金流量表，同时兼顾借款还本付息计划和利润分配计划进行。

财务生存能力分析应结合偿债能力分析进行，项目的财务生存能力的分析可通过以下两个方面进行：

（1）分析是否有足够的净现金流量维持正常运营

1）在项目运营期间，只有能够从各项经营活动中得到足够的净现金流量，项目才能得以持续生存。

2）拥有足够的经营净现金流量是财务上可持续的基本条件，特别是运营初期。

3）通常因运营期前期的还本付息负担较重，故应特别注重运营期前期的财务生存能力分析。

4）财务生存能力还与利润分配的合理性有关。

（2）各年累计盈余资金不出现负值是财务上可持续的必要条件　在整个运营期间，允

许个别年份的净现金流量出现负值，但不能容许任一年份的累计盈余资金出现负值。

14.3.5 不确定性分析

由于在项目前期研究阶段，评价采用的数据大部分来自预测和估算，一些因素尚不能确定，存在一定程度上的不确定性，这些不确定因素不仅会使项目的收益受很大影响，而且会给项目投资者带来一定的投资决策风险，因此需对项目进行不确定性分析。对项目而言，影响效益因素主要有投资、客流、运营成本及票价。应考察各单因素变化对财务内部收益率的影响，绘制敏感性分析图，以直观地反映各因素对财务内部收益率的影响程度。

通过分析、预测项目主要不确定因素的变化对项目评价指标的影响，找出敏感因素，分析评价指标对该因素的敏感程度，并分析该因素达到临界值时项目的承受能力。

敏感性分析有单因素和多因素敏感性分析两种。单因素敏感性分析是对单一不确定因素变化的影响进行分析；多因素敏感性分析是对两个或两个以上互相独立的不确定因素同时变化的影响进行分析。

14.3.6 财务评价结论

在现有情况下，财务内部收益率一般会小于0，财务评价较差，但考虑到现代有轨电车具有公益性，应结合国民经济评价综合考虑。

第15章 经济评价、社会评价及风险分析

15.1 经济评价与社会评价

国民经济评价是对投资项目进行决策分析，判断其经济合理性的一项重要工作。工程项目在其建设和运营过程中，会产生各种各样的社会影响。项目的利益相关者会根据其获得收益或受到损失的情况，以不同的途径和方式对项目的建设施加各种影响。科学发展观强调在项目的投资建设和运营过程中，必须按照以人为本的要求，关注公共利益，满足建设社会主义和谐社会的要求，因此，在项目决策分析中，社会评价将越来越受到重视。

15.1.1 项目对社会的影响分析

目前公共交通服务属性较低，居民出行质量较低，主要表现在出行时间长、速度慢、舒适度低、安全性差。特别是在高峰时期，这种矛盾更为突出，亟需安全、舒适、大容量的轨道交通方式。现代有轨电车系统的建设可将各片区连成一体，为组团间客流提供全天候、全方位的服务，由此缩短居民的出行时间，减少拥挤及疲劳程度，提高公共交通的服务属性，为其提供安全、舒适、快速、便捷、大容量、无污染的绿色交通工具，从根本上改善居民的出行质量。

现代有轨电车系统建设项目是大型的基础设施建设项目，规模大，建设周期长，对于设计单位和施工单位，都是一个巨大的市场。项目建设所需的劳动力、设备、材料等大部分由本地供应，将给本地的建筑业、建材工业带来发展机遇，给人们提供大量的就业机会。

项目运营后，将促进沿线经济的快速发展，为了满足人民工作和生活的需要，各商家也会不失时机地增加沿线开发投资，扩大经营规模。在相关部门和单位增加投资项目的同时，也创造了新的工作岗位。

1. 施工期间对沿线交通及环境的影响

项目在施工期间对沿线的道路及行人会产生一定的影响。

项目在施工期间将占用大部分路面，对道路的车辆通行会产生一定的影响，应作好施工期间的道路通行组织工作，以确保城市交通的正常运转。

另外，在施工过程中，施工机械会产生较大的施工噪声和振动，对附近居民的生活产生一定的影响，因此为减少对周围环境的影响，应在部分地段建造隔音墙并合理安排施工时间，避免休息时段进行施工。

2. 项目建成后对沿线的影响

项目的车站均设置在地面，采用电力牵引，与地面交通相比减少了碳氧化合物、硫烟微粒等有害污染物的排放，可以有效净化大气环境，保持优美的自然环境，促进社会的可持续发展。

15.1.2 项目与所在地互适性分析

项目工程拆迁涉及的部分居民及企业。

1）沿线拆迁居民对项目的态度。

2）沿线拆迁企业对项目的态度。

3）沿线的部分企事业单位。

项目的修建主要涉及了市、区组织，由于其权限不同，因此对项目的支持程度也不同。

1）某市政府及相关单位。

2）各区、县政府。

地区文化状况对项目的适应程度：

1）与城市地位相适应。

2）与城市环境相适应。

3）与城市景观相适应。

15.1.3 社会风险分析

项目的建成运营对于满足改善沿线居民出行状况、促进沿线地区社会经济发展、土地开发利用以及满足客流需求等方面具有良好的社会效益。但同时也存在一定的社会风险。为此，各部门应针对不同的风险因素，提前制定相应的措施，减少或分散风险。社会风险分析见表15-1。

表15-1 社会风险分析

序　号	风险因素	持续时间	可能导致的后果	措施、建议
1	迁移居民	建设期		
2	弱势群体支持问题	建设期及运营期		
3	沿线商业网点及居民	建设期及运营期		
4	受损补偿问题	建设期		
5	地面公交系统和出租车公司	运营期		
6	各区政府出资	建设期		

项目潜在的主要风险因素有：公共政策风险、市场风险、技术风险、资金风险。融资风险主要包括融资方案的不稳定性和资金能否按时全部到位的不确定性。融资方案的不稳定性主要是由于在项目的前期阶段，具体的融资方案有待于进一步确定，这就给项目的评价结论带来了不确定性。

资金到位情况的不确定性主要是指资金不能按时到位或不能到位。由于轨道交通投资数额较大，各投资方能否按时拨款有一定的不确定性。资金到位的情况直接对工程的建设工期产生影响，从而可能造成投资膨胀及项目经济效益降低，使项目达不到预期的内部收益率。

而资金不能及时到位对轨道交通项目来说出现的几率还是很高的。

工程投资估算，实质上是一种对未来事件的预测。但由于未来的情况受多种不确定因素的影响，因此所估算的投资不可能将未来发生的情况都做出准确的预测，因而承担着一定的风险。建设项目规模较大、投资较多，在施工过程中的自然状态和经济条件都存在着不同程度的不确定性，最终导致项目投资的不确定性；这种项目投资的不确定性，在大多数情况下，表现为工期拖延和投资膨胀，这种拖延和膨胀最终使项目经济效益降低，甚至使项目达不到预期的内部收益率。

1. 风险分析

（1）工期风险　拖延项目工期的因素非常多，如勘测资料的详细程度、设计方案的稳定性、项目业主的组织管理水平、资金到位情况、承建商的施工技术及管理水平等。

由项目的财务分析可以看出，如果工期拖延必将引起工程投资的增加，并且工期拖延将影响项目的现金流入，使项目净收益减少。因此，工期也是本项目一个较大的风险因素。

（2）组织与管理风险　轨道交通公司企业管理的风险，首先是来自公司组织架构及运作程序的风险。轨道交通公司资本金的构成主要是政府投入和社会各方股东资金，容易出现政企不分的体制。使得许多决策如轨道交通建设进度计划、经营战略的谋划等须经过政府机关审核，决策过程繁琐，决策效率低下，造成时间延误和决策责任不明，投资的收益难以保证。

在我国的一般工程设计中，对于设计工作中的风险都能感知，但做到对风险系统的管理，比较苍白。轨道交通工程项目作为集合经济、技术、管理、组织各方面的综合性社会活动。它的特点是规模较大、技术新颖、持续时间长、参加单位多、与环境接口复杂，在各个方面都存在着不确定性。这些风险容易造成工程项目包括设计、实施的失控，如工期延长、成本增加、计划修改等，最终导致工程经济效益降低，甚至项目失败。

（3）其他风险　其他风险包括供水、供电等主要外部协作配套条件发生重大变化，给项目建设、运营造成困难。

2. 风险程度定性分析

由前面的风险因素分析可以看出，项目在政策、市场、技术、资金等方面存在诸多风险因素，根据其影响程度和产生的后果，大致归纳为工程投资、运营收入、运营成本三个方面，见表 15-2。

表 15-2　风险因素分类

序　　号	风 险 类 别	具体风险因素名称
1	工程投资	工程方案、征地拆迁、设备选用、施工质量及管理、融资方案、建设进度
2	运营收入	客流市场、票价水平、票价政策、物业开发、公共政策
3	运营成本	经营管理、融资方案、电力价格、财税政策

对工程投资影响最大的为工程方案、融资方案、建设进度和征地拆迁，这些因素发生变动的可能性大，容易导致工程投资的重大变动，是项目重要的风险因素。

客流市场和票价是影响运营收入的主要风险因素，发生变动的可能性较大，是影响本项目财务收益的两个主要风险因素。

项目的经营管理和融资方案是影响本项目运营成本较为显著的风险因素，特别是本项目运营架构的变动将对运营成本产生较大影响。

3. 风险对策

（1）公共政策风险对策　国家宏观政策的影响将是不可回避的，对于城市交通发展政策的影响，需要政府承诺限制对轨道交通运营不利的政策实施。

（2）市场风险对策　为了避免不确定因素给客流带来的负面影响，可以通过政府签订保底客流的经营协议来转移风险。也就是需要政府承诺轨道交通达不到一定客流的情况下，应给予公司特殊的补偿，将客流不足的风险转移给政府。同时积极开发站点周边物业，为轨道交通培育客流。在票价、票制制定时，充分做好市场调研，满足乘客心理承受水平。

（3）技术风险对策　在具体各阶段设计中，对采用的基础资料如客流、城市规划、地质资料等尽可能做到客观、准确，夯实技术方案基础；充分估计不确定性因素的影响，多方案比选。

（4）资金风险对策　加强融资多方案的研究与比选，充分考虑融资过程中的各种风险因素，加强有针对性的应对措施。同时，也要强化项目法人责任制，做好项目的融资、还贷工作，避免因资金不到位影响建设工期。

（5）组织与管理风险对策　通常情况下，政府既是项目公司的股东，又是项目公司获得稳定回报的政策支持者，因此理顺政府与项目公司的关系，是提高公司决策效率的基础。通过事前策划，建立有效的约束机制，可以使管理风险降至最低，尤其是在法制效率不高、行政介入见效的环境下。

处理政府与项目公司的关系有两种方式，一是将政府投资的部分或全部作为沉没资产注入，政府投资的回报主要通过轨道交通对城市经济发展的促进来实现，同时政府不再对轨道交通未来经营的好坏承担风险。这一模式在欧美国家轨道交通私有化过程中普遍采用，事实上城市轨道交通通过直接经营获得资产回报几乎是不可能的。第二种方式是采用“国有私营”的模式，政府对轨道交通建设的财政拨款采取认购项目公司股本的形式，政府与轨道交通公司的关系是纯粹的商业性持股关系。政府委任董事局，而对公司的经营事务包括轨道交通业务的经营坚决不干涉，双方利益共享，风险共担。

（6）其他风险对策　提高项目法人的管理水平，充分重视外部协作的工作，尽量为项目的实施、运营提供一个稳定、可靠的外部环境。例如，供水、供电在签订合同时可以明确由于不能正常供应所带来损失的赔偿条款；或者办理相关的工程保险，把项目部分风险转移。

15.1.4　社会评价结论

1. 经济费用效益分析的原则

1）项目属于社会公益性项目，评价结论应以经济费用效益分析为主。

2）经济费用效益分析遵循效益与费用计算口径对应一致的原则，应计算项目间接效益与费用。

3）采用有无对比法，即将建设项目所产生的效益和费用与未建设项目所产生的效益和

费用进行对比。有项目是指项目已建成的情况；无项目是指不建设项目，而靠拓宽道路利用公共汽车承担同样客运量方式考虑。

4）经济费用效益分析使用影子价格，在计算期内各年均不考虑物价总水平上涨因素，从国家整体角度分析计算项目对国民经济的净贡献。

5）以动态分析为主、静态分析为辅；定量与定性分析相结合为原则。

2. 经济分析的主要参数

（1）社会折现率　社会折现率表示从国家角度对资金机会成本和资金时间价值的估量，目前我国的社会折现率为 8%。

（2）影子价格　考虑到近年来我国市场经济的发展，国家对绝大部分物资、工业产品的价格已基本放开，随市场的供求变化而变化，且与国际市场价格相差不大，其影子价格与实际价格越来越接近。

在评价中，考虑扣除电力基金等因素，确定电价的影子系数及其他费用的影子系数，表明现行的该价格与国际市场相一致。评价的票价影子价格系数考虑政策票价与市场票价的差异，确定评价的票价影子价格系数。

3. 经济费用估算

经济费用是在实现一定运输功能和效果的条件下，有项目比无项目情况下增加的资源消耗，主要包括工程建设费用和运营维护费用。

（1）工程建设费用　工程建设费用主要计算有项目情况下与无项目情况下增加的资源消耗，其计算公式为：

工程建设费用 = 有项目情况下的工程建设费用 − 无项目情况下的工程建设费用

1）有项目情况下的工程建设费用。有项目情况下的工程建设费用以财务费用效益建设投资估算为基础，主要做以下几个方面的调整：

① 剔除属于国民经济内部转移支付的部分。包括引进设备及材料的关税和增值税、土地使用税、建设期国内借款利息。

② 调整引进设备及材料价格。

③ 调整国内设备价格。

④ 调整建筑费用。

⑤ 调整安装费用。

⑥ 调整建设工程其他费用。

⑦ 土地机会成本是按本工程车辆段占用的土地而使国民经济为此放弃的该土地最好可行替代用途的净效益测算。所征用土地考虑按开发商品房来测算土地机会成本计算土地影子费用。

2）无项目情况下的工程建设费用。为解决旅客运送的需要，需要对现有公共汽车运输系统的规模进行扩大，其工程建设费用主要包括新增车辆的投资、公共汽车配套设施的投资、道路拓宽费用等。

① 新增车辆的投资。需新增加公共交通工具以满足客流增长的需要。对车辆投资的计算公式为

车辆投资成本 = 所需车辆数 × 车辆的经济价格

车辆的经济价格：按车辆市场价格计算。

所需车辆数：按扣除由自行车转乘部分的客流后的最大断面客流计算。

② 现代有轨电车配套设施的投资。现代有轨电车车辆的增加需要增加相应的配套设施。如车场、管理用房、检修厂、机械厂及相应的机械设备等。

（2）运营维护费用　运营维护费用主要计算有项目情况下与无项目情况下运营维护费用的差额。其计算公式为

运营维护费用 = 有项目情况下的运营维护费用 − 无项目情况下的运营维护费用

1）有项目情况下的运营维护费用。对财务分析的运营成本进行调整以计算有项目情况下的运营维护费用。主要包括以下几个方面：剔除属于国民经济内部转移支付的国内贷款利息和计入成本的税金；依据调整后的建设投资调整大修费用和折旧费用；依据影子工资、影子电价及货物的影子价格等参数调整各项运营费用要素。

2）无项目情况下的运营维护费用。无项目情况下的运营维护费用主要计算公共汽车的经济运营成本。

经济运营成本 = 运营车 km × 经济运营车 km 成本（元/车 km）

4. 经济效益估算

现代有轨电车的修建给社会带来的效益是非常显著的，和无项目情况相比，它将产生诱发客流效益、节约时间效益、减少疲劳效益、减少交通事故效益以及其他许多无法定量计算的外部效益。

（1）诱发客流效益　诱发客流效益主要计算有项目情况下由于本项目的建设运营所诱发的客流所产生的效益。

（2）节约出行时间效益　为了实现某一出行目的，乘客选择现代有轨电车而较选择其他地面交通所节省的时间即为节约时间，乘客可利用该段时间为社会所创造的价值即为节约时间价值。

（3）减少疲劳效益　长时间的乘车会导致乘客的身体不适，拥挤、狭小、闷热的乘车环境将使乘客产生疲劳，导致工作效率降低。现代有轨电车比公共汽车现代化程度高，服务质量和水平也较好。所以轨道交通快捷、舒适的旅行环境与公共汽车相比减少了乘客的疲劳，从而产生提高劳动生产率的效益。

（4）减少交通事故效益　随着经济的发展，我国机动车辆增长较快，交通拥挤混乱，交通事故逐年增加。交通事故造成的损失甚至人员伤亡不仅给社会造成负担，而且对个人的身心将造成无法估计的损失，将导致直接损失和间接损失。城市轨道交通基本上是一个独立的系统，不受其他车辆、行人、天气、道路等各种因素的干扰，很少发生交通事故，产生了减少交通事故效益。

（5）其他效益　除上述可以定量计算的效益以外，本项目还有许多其他目前尚无法或不易用货币来计量的效益，主要包括减少城市污染，改善交通结构，促使城市布局更合理，进一步加快城市的经济发展，促进本工程沿线的综合开发，土地增值等社会效益。

5. 经济费用效益分析指标

（1）经济内部收益率　经济内部收益率是反映项目对国民经济净贡献的相对指标。经济内部收益率若大于社会折现率，则表明项目对国民经济的净贡献达到或超过了要求的水平，是可以接受的。

（2）经济净现值（ENPV）　经济净现值是反映项目对国民经济净贡献的绝对指标。经济净现值若大于零，表示国家为建设本项目付出代价后，除可以得到符合社会折现率的社会盈余外，还可以得到以现值计算的超额社会盈余，项目是可以接受的。

6. 经济预评价结论

项目经济费用效益分析考虑节省时间，提高劳动生产率，减少公交系统投资，减少交通事故和改善环境等，经计算，全部投资经济内部收益率若大于社会折现率（8%），全部投资经济净现值均大于零，则国民经济效益较好。

上述经济评价只是从可量化的几个方面分析，而且是比较保守的测算，项目还有一些难以定量的国民经济效益和社会效益：

1）改善地区的投资环境、居住环境，促进地区经济的发展。

2）工程沿线土地的增值效益。

3）节约能源效益。

4）增加了就业机会，为社会稳定作出了一定贡献。

综上所述，提出项目在经济费用效益分析上是否可行的结论。

15.2　风险分析

基于不同的分类标准，风险可以划分为多种类型，不同的风险分类间又可能有交叉，见表 15-3。

表 15-3　风险分类

分类方法	风险类型	特　点
按照风险的后果分	纯风险	只会造成损失，不能带来利益
	投机风险	可能带来损失，也可能产生利益
按照风险事件主体的承受能力分	可承受风险	风险的影响在风险事件主体的承受范围内
	不可承受风险	风险的影响超出了风险事件主体的承受范围
按照技术因素分	技术风险	由于技术原因而造成的风险，如技术进步使得原有的产品寿命周期缩短，选择的技术不成熟而影响生产等
	非技术风险	非技术原因带来的风险，如社会风险、经济风险、管理风险等
按照独立性分	独立风险	风险独立发生
	非独立风险	风险依附于其他风险而发生
按照风险的可管理性分	可管理风险	可以预测，并可采取相应措施加以控制的风险
	不可管理风险	有较强的不确定性，难以预测，因而也无法采取适当的措施应对的风险
按照风险的边界划分	内部风险	风险发生在风险事件主体的组织内部，只能被动接受，如政策风险、自然风险等
	外部风险	风险发生在风险事件主体的组织外部，只能被动接受，如政策风险、自然风险等

（续）

分类方法	风险类型	特　　点
按照风险的影响范围分	基本风险	作用于整个社会和大多数人群的风险，具有普遍性，如战争、自然灾害等。其特点是影响范围大，后果严重
	特殊风险	仅仅作用于某一特定单位（个人、项目或企业）的风险，不具有普遍性，如偷盗、抢劫、房屋失火等。其特点是影响范围小，虽然就个体来说，损失可能非常大，但相对于整个社会经济而言，后果并不严重

现代有轨电车项目风险分析是在客流预测、技术方案、工程方案、融资方案和社会评价论证中已进行的初步风险分析的基础上，进一步综合分析识别拟建项目在建设和运营中潜在的主要风险因素，揭示风险来源，判别风险程度，提出规避风险对策，降低风险损失。

15.2.1　项目主要风险识别因素

项目风险分析贯穿于项目建设和生产运营的全过程。在可行性研究阶段应着重识别以下风险：

（1）客流风险　主要是实际的客流量与预测值发生的偏离。

（2）技术风险　项目采用的技术（包括引进技术）的先进性、可靠性、适用性和可得性与预测方案发生重大变化，导致系统运能下降、成本增加等达不到预期要求。

（3）工程风险　工程地质条件、水文地质条件与预测发生重大变化，导致工程量增加、投资增加、工期拖长。

（4）资金风险　资金供应不足或者来源中断导致项目工期拖期甚至被迫终止；利率、汇率变化导致融资成本升高。

（5）政策风险　政策风险主要指国内外政治经济条件发生重大变化或者政府政策作出重大调整，项目原定目标难以实现甚至无法实现。

（6）外部协作条件风险　供电等主要外部协作配套条件发生重大变化，给项目建设和运营带来困难。

（7）社会风险　预测的社会条件、社会环境发生变化，给项目建设和运营带来损失。

（8）其他风险。

15.2.2　风险程度分析

风险等级按风险因素对投资项目影响程度和风险发生的可能性大小进行划分，风险等级分为一般风险、较大风险、严重风险和灾难性风险。

1）一般风险，风险发生的可能性不大，或者即使发生，造成的损失较小，一般不影响项目的可行性。

2）较大风险，风险发生的可能性较大，或者发生后造成的损失较大，但造成的损失程

度是项目可以承受的。

3）严重风险，有两种情况，一是风险发生的可能性大，风险造成的损失大，使项目由可行变为不可行；二是风险发生后造成的损失严重，但是风险发生的概率很小，采取有效的防范措施，项目仍然可以正常实施。

4）灾难性风险，风险发生的可能性很大，一旦发生将产生灾难性后果，项目无法承受。

风险评估可采用多种方法。可行性研究阶段应根据项目具体情况和要求选用以下方法：

（1）简单估计法

1）专家评估法。这种方法是以发函、开会或其他形式向专家咨询，对项目风险因素及其风险程度进行评定，将多位专家的经验集中起来形成分析结论。为减少主观性和偶然性，评估专家一般少于 10 人。具体操作上，可先请每位专家凭借经验独立对各类风险因素的风险程度作出判断，然后将每位专家的意见归集起来进行分析，将风险程度按灾难性风险、严重风险、较大风险、一般风险进行分类，并编制项目风险因素和风险程度分析表。

2）风险因素取值评定法。这种方法是通过估计风险因素的最乐观值、最悲观值和最可能值，计算期望值，将期望值的平均值与已确定方案的数值进行比较，计算两者的偏差值和偏差程度，据以判别风险程度。偏差值和偏差程度越大，风险程度越高。

（2）概率分析　概率分析是运用概率方法和数理统计方法，对风险因素的概率分布和风险因素对评价指标的影响进行定量分析。

概率分析，首先预测风险因素发生的概率，将风险因素作为自变量，预测其取值范围和概率分布；再将选定的评价指标作为因变量，测算评价指标的相应取值范围和概率分布，计算评价指标的期望值，以及项目成功的概率。

15.2.3　防范和降低风险措施

风险分析的目的是研究如何降低风险程度或规避风险，减少风险损失。在预测主要风险因素及其风险程度后，应根据不同风险因素提出相应的规避和防范对策，以期减小可能的损失。在可行性研究阶段可能提出的风险防范对策主要有以下几种：

1. 风险回避

风险回避是彻底规避风险的一种做法，即断绝风险的来源。它对投资项目可行性研究而言，意味着可能彻底改变方案甚至否定项目建设。回避风险对策，在某种程度上意味着丧失项目可能成功的机会，因此只有当风险因素可能造成的损失相当严重或者采取措施防范风险的代价过大、得不偿失的情况下，才应采用风险回避对策。

2. 风险控制

风险控制是对可控制的风险，提出降低风险发生可能性和减少风险损失程度的措施，并从技术和经济相结合的角度论证拟采取控制风险措施的可行性与合理性。

3. 风险转移

风险转移是将项目可能发生风险的一部分转移出去的风险防范方式。风险转移可分为保

险转移和非保险转移两种。保险转移是向保险公司投保，将项目部分风险损失转移给保险公司承担；非保险转移是将项目的一部分风险转移给项目承包方，如项目技术、设备、施工等可能存在风险，可在签订合同中将部分风险损失转移给合同方承担。

4. 风险自担

风险自担是将可能的风险损失留给拟建项目自己承担。这种方式适用于已知有风险存在，但可获高利回报且甘愿冒险的项目，或者风险损失较小，可自行承担风险损失的项目。

第 16 章 可行性研究支撑性文件及评估

16.1 现代有轨电车可行性研究支撑性文件

可行性研究报告是按照批准的项目建议书，对项目在经济、技术、工程和外部协作条件等方面，进行全面分析、论证，作多方案比较。它是项目投资前期的重要阶段，是项目前期工作的核心内容。随着社会经济的不断发展，人们对建设项目所产生的环境、地质、水土保持等相关领域的影响日益重视，对可行性研究报告编制的要求也在不断提高。因此，在进行项目前期可行性研究过程中，需结合项目具体情况开展相关专题研究，以作为可行性研究报告的支撑性文件。环境、水土保持、防洪影响评价等相关专题的批复是受理可行性研究报告上报、审批的前置要件，对项目前期工作的推动起到至关重要的作用，下文分别介绍支撑交通项目可行性研究报告常用专题的工作进程（内容）和审批流程。

16.1.1 环境影响评价

1. 建设项目环境影响评价的工作进程

环境影响评价工作大体包括三个阶段：

1）准备阶段，主要工作内容是研究有关文件，进行初步的工程分析和环境现状调查，筛选需重点评价的内容，制定环境影响评价工作计划。

2）正式工作阶段，主要工作内容是进一步进行工程分析和环境现状调查，并对拟建项目的环境影响进行预测、分析和评价。

3）环境影响评价文件编写阶段，主要任务是汇总、分析前一阶段工作所取得的各种资料、数据和结论，完成拟建项目环境影响评价文件的编写工作。为了确保环境影响评价各阶段工作的有序开展，结合项目管理工作的实际需要，环境保护行政主管部门对环境影响评价各阶段的工作履行管理职能。建设项目决策阶段环境影响评价管理的主要内容如下：

① 环境影响评价的确立和委托。

② 环境影响评价文件的编制。

③ 环境影响评价文件的审批。

对于不同类型的项目，向环境保护行政主管部门报批环境影响评价文件的时段有不同要求。实行审批制的建设项目，应在报送可行性研究报告前完成环境影响评价文件报批手续；

实行核准制的建设项目，应在提交项目申请报告前完成环境影响评价文件报批手续；实行备案制的建设项目，应在办理备案手续后和项目开工前完成环境影响评价文件报批手续。

除国家规定需要保密的情形之外，对环境可能造成重大影响，应当编制环境影响报告书的建设项目，建设单位应当在报批建设项目环境影响报告书前，举行论证会、听证会，或者采取其他形式，征求有关单位、专家和公众的意见。环境影响报告书应当附具对有关单位、专家和公众意见采纳或者不采纳的说明。

环境影响评价文件经批准后，建设项目的性质、规模、地点、采用的生产工艺或者防止污染、防止生态破坏的措施发生重大变动的，建设单位应当重新报批环境影响评价文件。建设项目的环境影响评价文件自批准之日起超过 5 年，方决定该项目开工建设的，其环境影响评价文件应当报原审批部门重新审核。

2. 建设项目环境影响评价的分类管理

《中华人民共和国环境影响评价法》规定，国家根据建设项目对环境的影响程度，对建设项目的环境影响评价实行分类管理，区分不同情况分别要求编制环境影响报告书、环境影响报告表和填报环境影响登记表。

1）可能造成重大环境影响的建设项目，应当编制环境影响报告书，对产生的环境影响进行全面的评价。

2）可能造成轻度环境影响的建设项目，应当编制环境影响报告表，对建设项目产生的污染和对环境的影响进行分析或者专项评价。

3）对环境影响很小，不需要进行环境影响评价的建设项目，应当填报环境影响登记表。

16.1.2　水土保持方案

1. 水土保持方案编制的工作进程

1）根据主体工程可行性研究报告或初步设计编写水土保持方案报告书送审稿，并加盖方案编制单位和建设单位公章以及图样专用章。

2）撰写水保方案送审稿上行文，向方案报批水行政主管部门申请评审，附带送审稿（一般由方案编写单位代业主做）。

3）上会（水利行政主管部门安排好评审会议时间后开会评审方案）。

4）盖方案编制单位和建设单位公章以及图样专用章。

5）撰写水保方案报批稿上行文，向方案报批水行政主管部门申请报批，附带报批稿（一般由方案编写单位代业主做）。

6）等待方案审批水行政主管部门下批文。

2. 水土保持方案的审批与执行

水利部门在接到水土保持方案报告书或水土保持方案报告表之日起，分别在 60 天、30 天内办理审批手续。对特殊性质或特大型生产建设项目水土保持方案的审批时限可适当延长，延长时限最长不超过半年。项目单位必须严格按照批准的水土保持方案进行设计、施工。项目工程竣工验收时，必须由水利局同时验收水土保持设施。水土保持设施验收不合格的，项目工程不得投产使用。

16.1.3　防洪影响评价

1. 防洪影响评价主要内容

1）项目基本概况。

2）河道演变情况。

3）防洪评价计算。

4）防洪综合评价。

2. 防洪影响评价审批

（1）所需资料　洪泛区、蓄滞洪区建设项目洪水影响评价报告审查申请书；建设项目所依据的文件；建设项目的可行性研究报告（含图样）及初步方案；《建设项目洪水影响评价报告》审查意见及按审查意见修改好的《建设项目防洪评价报告》；建设单位自行安排的防洪避洪方案和应急措施；影响公共利益或第三人合法权益的，应当提交有关协调意见书或承诺书。

（2）法律依据　《中华人民共和国防洪法》第 33 条：在洪泛区、蓄滞洪区内建设非防洪建设项目，应当就洪水对建设项目可能产生的影响和建设项目对防洪可能产生的影响作出评价，编制洪水影响评价报告，提出防御措施。建设项目可行性研究报告按照国家规定的基本建设程序报请批准时，应当附具有关水行政主管部门审查批准的洪水影响评价报告。在蓄滞洪区内建设的油田、铁路、公路、矿山、电厂、电信设施和管道，其洪水影响评价报告应当包括建设单位自行安排的防洪避洪方案。建设项目投入生产或者使用时，其防洪工程设施应当经水利行政主管部门验收。

（3）审批流程

1）受理——申请人按规定提交申请材料，由行政审批中心水利窗口工作人员受理；时限为 1 个工作日。

2）审核——按照审核标准进行审批。审核人员根据需要，对现场进行必要的勘验、核查。对符合标准的，将申请材料一并转到审定人员处进行审核。对不符合标准的，提出意见，将申请材料与意见转入审批中心工作人员。时限为 15 个工作日。

3）审定——对符合条件的，在文件上签署同意意见，水利部门下发文件批复；对不符合条件的，对申请材料签署意见及建议，水利部门出具不予行政许可决定；属县水利局初审的，转报省、市水利部门审批。时限为 3 个工作日。

4）告知——行政审批中心水利窗口工作人员按照工作标准进行告知，批复材料归档。对审定能通过的，通知申请人领取批复文件。对不予批准的，将理由告知申请人。并将申请人提交的申请材料中的原件应退还申请人，将原件复印后与其他材料留存归档。时限为 1 个工作日。审批合计承诺时限为 20 个工作日。

16.1.4　地质灾害危险性评估

1. 地质灾害危险性评估主要内容

1）地质灾害危险性现状评估。

2）地质灾害危险性预测评估。

3）地质灾害危险性综合分区评估及防治措施。

2. 地质灾害危险性评估审批

1）在项目可行性研究阶段、建设用地审批前，审查是否需做地质灾害危险性评估工作。

2）在地质灾害易发区内进行工程建设的，编制地质灾害易发区内的城市总体规划、村庄和集镇规划的项目，需开展地质灾害危险性评估，由业主单位委托有资质的单位进行地质灾害危险性评估工作。其中甲级地质灾害危险性评估单位可承担一、二、三级地质灾害危险性评估工作；乙级地质灾害危险性评估单位可承担二、三级地质灾害危险性评估工作；丙级地质灾害危险性评估单位可承担三级地质灾害危险性评估工作。

3）承担评估单位在实施评估工作前，需持有关资质证书到当地市（设区）级以上国土资源主管部门进行资质备案登记。

4）评估单位必须对评估报告进行初审，初审合格后，提交评审。有国土部门或经国土部门认可的机构组织专家对评估报告进行审查。其中一、二级评估成果的审查工作由省国土资源部门确定，三级评估报告的审查工作由市（设区）级国土部门确定。

5）专家组审查通过评估报告后，业主应根据规定持相关资料到国土部门进行备案。其中一、二级评估报告报省国土资源厅备案，三级评估报告报市国土局备案。备案需提交的资料包括：① ××地质灾害危险性评估报告及附件；② ××地质灾害危险性评估报告备案登记表。

6）备案登记。对于符合条件的，国土部门应自受理之日起在 5 个工作日内办理完备案手续。

7）对评估认为应当建设地质灾害配套工程的，地质灾害治理工程的设计、施工和验收应当与主体工程的设计、施工、验收同时进行。配套的治理工程验收不合格的，主体工程不得投入生产或使用。

16.1.5 社会稳定风险评估

1. 评估报告编制大纲

（1）基本情况

1）项目概况。简述项目基本情况，主要包括：项目单位、拟建地点、建设必要性、建设方案、建设期、主要技术经济指标、环境影响、资源利用、征地搬迁及移民安置、社会环境概况（含当地经济发展及社会治安、群体性事件、信访等情况）、投资及资金筹措等内容。

2）评估依据。社会稳定风险评估工作所依据的相关法律、法规和规范性文件等；国家出台的区域经济社会发展意见、国务院及有关部门批准的相关规划、采用的项目所在地人民政府确定的社会稳定风险评判标准或指标体系。

3）评估主体。拟建项目的评估主体指定方、评估主体的组成及职责分工，并具体说明其相关部门、社会组织、专业机构、专家学者、群众代表等参与评估工作情况。

4）评估过程和方法。简述评估工作的程序、步骤和主要过程；说明评估工作所采用的主要方法。

（2）评估内容

1）风险调查评估及各方意见采纳情况。阐述对社会稳定风险分析篇章中风险调查的广

泛性、代表性、真实性等进行评估的过程和结果。说明评估主体根据实际需要直接开展或者要求项目单位开展补充风险调查的情况。对收集的拟建项目各方面意见进行梳理和比较分析，形成能够反映实际情况的信息资料，并阐述其采纳情况。

2）风险识别和估计的评估。一是风险识别评估。对风险分析篇章中风险识别的完整性和确定性提出评估意见；根据风险调查评估结果，对拟建项目可能引发的主要社会稳定风险因素进行补充完善，并汇总。二是风险估计评估。对风险分析篇章中风险估计的客观性、分析内容的完备性、分析方法的适用性提出评估意见；预测估计主要风险因素发生概率、影响程度和风险程度。

3）风险防范和化解措施的评估。对社会稳定风险分析篇章中提出的风险防范、化解措施进行评估，并补充完善。针对拟建项目可能引发的社会稳定风险，进一步补充完善和明确落实各项防范、化解措施的责任主体和协助单位、具体负责内容、风险控制节点、实施时间和要求。

4）落实措施后的风险等级确定。对风险分析篇章中风险等级判断方法、评判标准的选择运用是否恰当、风险等级判断结果是否客观合理提出评估意见；结合补充的重要风险因素，综合以上评估结果，确定项目落实防范、化解风险措施后的项目风险等级。

（3）评估结论

1）拟建项目存在的主要风险因素。

2）拟建项目的合法性、合理性、可行性、可控性评估结论。

3）拟建项目的风险等级。

4）拟建项目主要风险防范、化解措施。

5）根据需要提出应急预案和建议。

2. 评估报告编制说明

（1）关于评估主体　评估主体由项目所在地人民政府或其有关部门指定。

（2）关于评估程序

1）制定评估工作方案。

2）收集和审阅相关资料。

3）充分听取意见。

4）全面评估论证。

5）确定风险等级。

6）编制评估报告。

（3）关于评估要点　评估主体应在对社会稳定风险分析篇章整体把握的基础上，根据拟建项目的实际情况，重点围绕拟建项目建设实施的合法性、合理性、可行性、可控性进行评估论证。

（4）关于风险调查评估

1）对风险调查的全面性进行评估，包括风险调查的内容和范围、调查的形式和方法是否恰当、合理、科学，是否达到广泛性和深入性的要求。

2）对公众参与的完备性进行评估，包括拟建项目是否按照有关规定履行了公众参与、专家咨询、信息公开等程序性的要求。

3）对风险调查结果的真实性和可信性进行评估，包括是否广泛听取了各方面意见，是

否全面、真实反映了相关利益相关者合理和不合理、现实和潜在的诉求。

4）在对社会稳定风险分析篇章评估的基础上，根据实际情况，可采取公式、问卷调查、实地走访和召开座谈会、听证会等方式进行补充调查，完善风险调查相关内容。

（5）关于风险识别评估

1）结合风险调查评估结果，对社会稳定风险分析篇章中各风险因素识别的全面性和准确性进行评估。

2）通过对有关社会经济调查及统计资料的分析，结合对项目经济影响评价、社会影响评价、环境影响评价、资源利用、土地房屋征收补偿和移民安置影响评价等相关评估结论，以及公众参与的完备性程度等的评估，判断拟建项目是否存在被遗漏的重要风险因素，并补充识别被遗漏的重要风险因素。

（6）关于风险估计评估

1）对分析篇章中选用的风险估计方法，对每一个主要风险因素所进行的分析推理过程，对预测估计的主要风险因素的风险发生概率、影响程度和风险程度是否恰当进行评估。

2）补充分析篇章风险识别中遗漏的重要风险因素，对拟建项目可能存在的重要风险因素的性质特征、未来变化趋势及可能造成的影响后果进行分析评估，形成评估后主要风险因素的风险程度汇总表。

（7）关于风险防范、化解措施评估

1）对分析篇章中提出的风险防范、化解措施是否与现行的相关政策和法规相符，进行合法性的评估。

2）对分析篇章中提出的风险防范、化解措施是否有遗漏，进行系统性、完整性的评估。

3）对分析篇章中提出的风险防范、化解措施是否具有明确的责任主体，职责分工以及时间进度安排，是否全面、合理、可行、有效进行评估。

4）结合风险识别和风险估计评估结论，补充、优化和完善风险防范、化解措施，进一步明确责任主体等内容，编制经评估的风险防范、化解措施汇总表，并提出综合评估意见。

（8）关于落实措施后的风险等级评估

1）在风险防范、化解措施评估的基础上，对分析篇章中采取措施后各主要风险因素变化的分析是否得当进行评估，提出评估意见。

2）对分析篇章中采用的风险等级评判方法、评判标准的选择运用是否恰当，评判的结果是否合理提出评估意见。

3）结合补充的主要风险因素，和上述评估论证的结果，预测各主要因素风险可能变化的趋势和结果；分析变化情况，对落实措施后的风险等级进行综合判断，提出项目风险等级的评判结论。

16.1.6 客流预测专题报告

在考虑了公交网络动态运作特点及轨道交通线网规划延续性的基础上，须提出线网全日客流总量、断面客流、平均运距、平均在乘时间、换乘系数、客流不均匀系数和敏感性分析等客流指标，研究近期实施线网的客流规模及各条线路的总体指标，确定初、近、远期线网各条线路的客流规模，以及主要换乘枢纽集散量。其结果可作为控制线网建设规模、系统选

型、市场营销策划和票务等方面研究的依据。具体研究内容为：

1）确定研究范围、预测年限。

2）城市社会、经济、交通发展目标和战略。

3）基准年、规划年的人口、就业、土地使用模式。

4）现状轨网客流发展态势分析（含已运营线路客流总结及分析）。

5）预测年交通需求。

6）交通方式结构的划分。

7）建设方案评价指标体系制定。

8）建设计划网络方案比选。

9）优选方案实施效果（日客运量、客运公里、换乘系数、平均运距）。

10）线路评价指标（日客运量、平均运距）。

11）线网主要换乘站评价指标（集散量、换乘比例）。

各项研究内容均需按照国家有关规范和标准执行，基础资料收集及技术研究需达到可以满足指导前期研究、设计、建设和运营工作要求的深度。

16.2　现代有轨电车可行性研究评估

现代有轨电车可行性研究的评估应注重以下内容：

1. 项目建设必要性评估

应对可行性研究报告所提出的项目建设背景、依据、投资理由和项目设想、预期目标等基本情况作系统的分析评估，判断其充分、合理性。评估应当满足以下要求：

（1）分析的全面性　评估可行性研究报告是否结合项目现状及面临的问题、项目需求及相关发展规划等，从宏观、微观等各个层面、各个角度对项目建设必要性进行综合、全面分析。

（2）依据的充分性、有效性　评估可行性研究报告所提出项目的建设必要性，是否符合相关法律法规、宏观调控政策、产业政策等规定，是否符合与项目相关的各类规划要求，是否满足行业准入标准、重大布局优化、自主创新和采用先进技术等要求，评估其分析过程所采用的依据是否充分、有效。

（3）结论的合理性　评估可行性研究报告所提出的项目建设的理由是否充分，必要性结论的得出是否合理。

一般政府投资项目兴建的理由：为优化国家资源配置，合理开发和综合利用当地丰富资源，实施可持续发展的需要；调整产业结构的需要；新建基础设施或充分利用现有的基础设施、优越的社会协作条件和政府的优惠政策，发展科研、教育、文化、卫生等公益事业，改善交通运输等投资环境，促进地区经济和社会发展的需要；增强国防和社会安全能力的需要等。

评估应综合项目单位提供的资料和专家意见，分析项目建设背景、意义和紧迫性，对项目建设的必要性提出基本结论。一般来说，对于大中型建设项目应侧重于从国民经济和社会发展的角度进行分析评估；而对于中小型建设项目则侧重于从地区与行业发展的角度进行分析评估。

2. 项目需求分析评估

评估可行性研究报告对项目需求的分析论证，是否紧密结合项目现状及面临的问题，考虑的问题是否全面；分析过程所采用的依据是否充分、有效；分析方法是否科学；分析是否客观，结论是否合理等。评估要解决拟建项目是否能够满足社会需求和可持续发展的要求，是否有适当的扩展空间，项目的目标和功能是否合理等。

3. 项目建设内容、规模与建设标准合理性评估

根据国家有关法律、法规、相关政策文件、行业技术规程、规范，结合项目具体情况、现场踏勘结果和评估专家意见，对拟建项目是否能够解决项目兴建前遇到的问题和解决程度；项目建设目标、功能和内容是否紧密结合了当地发展规划及实际需要；项目建设规模和标准是否合理并符合相关行业规范；项目建设是否符合相关主管部门意见等方面进行分析评价，评估其建设内容、规模与建设标准的合理性，并提出评估及调整意见。

（1）项目建设功能和内容的合理性　应对项目建议书提出的概念性建设方案构想进行评估，根据项目建设要解决的问题，项目所提出的需求，城市规划的要求，建设地址的条件等对拟建项目的功能和内容是否必要和合理提出评估意见。

（2）项目建设规模的合理性　应结合行业特点，对拟建项目的建设规模是否充分考虑了现状情况及未来需要，是否留有适量发展空间等提出评估意见；并根据相关法规、行业标准和规范，对其功能分区及规模是否合理等提出明确意见。

（3）项目建设标准的合理性　建设标准与项目服务功能及目标相关，采用的规范要合理，建设标准应适度，评估应对其合理性提出明确意见。对于因某些要求而需采用特殊标准的，评估应以力求节省投资并能够保证功能正常发挥和适用为前提，对其合理性提出评估意见。

4. 项目建设选址及用地规模的合理性评估

对建设地址选择进行评估，要特别注意考虑项目辐射的范围，与居民区位置的距离，应根据节约用地的原则和国家政策、法律、规定，要求预留地不宜过多，要尽可能缩小用地面积，不占或少占用耕地。通过对项目建议书及相关附件，如土地使用权证，征（用）地协议，规划部门的规划意见书或复函，国土部门预审意见或证明等文件进行审查，对项目建设地点、场址土地权属类别及用地面积、土地利用状况、取得土地方式、项目用地规划性质、项目用地周边条件等方面进行分析，评估项目选址和用地方案是否符合有关法律法规要求：评估项目建设用地是否符合土地利用规划和其他土地管理政策法规的要求，是否符合城市规划；评估项目用地周边条件与拟建项目的适应性，并对项目用地规模是否合理等提出评估意见。

5. 项目建设内外部条件影响分析评估

根据现场踏勘和调查情况，评估项目是否具备建设的基本条件，包括水文、地质、气象、交通条件、建设材料供应、树木伐移及征地拆迁等条件，同时应明确工程红线内外市政配套条件及接口方案能够落实且可以确保配套市政工程与主体工程同步实施完成。说明项目目前所处工作阶段，所取得阶段性成果，相关部门等各项手续办理情况及项目进展情况。包括土地部门的土地预审意见（或复函），规划部门意见，环保部门的环评批复（或复函），项目节能专篇批复意见（或节能登记表）等相关部门的各项手续办理情况及项目进展情况。项目建设内容，建设规模对土地、规划、环保等部门批复的符合程度。评估项目建设对生

态、环境保护和能源、资源消耗（环境条件调查、影响生态和环境因素分析、环境影响评价、生态和环境保护及污染控制措施、能耗指标分析及节能措施、资源消耗指标分析及资源节约措施）的影响和采取的应对措施是否合理，其建设是否可行。评估项目建设在文物保护、劳动保护、安全及卫生防疫（危害因素及危害程度、安全卫生措施）、防震、消防（消防设施）等方面是否采用了合理可行的措施。

6. 项目总投资估算评估

应按照相关法律、法规要求，结合项目具体特点，对项目建议书投资估算编制依据的有效性、内容构成的完整性，估算指标的合理性，计算的正确性等提出评估和调整意见，明确投资估算范围及对总投资估算的评估结果，并按《建设项目经济评价方法与参数（第三版)》中的投资估算应包含的内容列示项目建设投资估算评估对比表，为满足后续各阶段评估工作的需要，除特殊情况外，一般采用概算法。项目总投资为项目的建设投资、建设期利息与流动资金之和，各行业的投资估算表应按行业要求结合该表的格式和内容列示。

7. 项目经济效益、生态环境效益和社会效益评估

政府投资项目主要侧重于社会效益及环境效益的评价。对有一定影响的建设项目，应依据相关文件和评价方法对项目可行性研究报告做出的项目经济效益、生态环境效益和社会效益分析是否合理进行评估。对按要求进行了经济评价的拟建项目，应评估其评价过程及结果的合理性。

8. 项目运作方案评估

应根据国家和有关部门的相关法律、法规，结合类似建设项目经验，对拟建项目设想的运作方案（包括项目建设和运营的组织与管理及资金筹措的初步方案等）的合规性、有效性和可操作性及建设周期的合理性提出评估意见，同时应审查项目资金筹措的落实情况。经过工程咨询机构内部的各级审核，加上外部专家全面、深入地评估审核，政府投资项目可行性研究报告的质量能够得到有效提高。

第 3 篇

现代有轨电车系统投融资模式

现代有轨电车项目具有以下经营特点：项目运营具有时空局限性，营利空间有限；项目权益具有放大性，资产的保值、增值能力强；项目沿线商业开发具有放大性、网络性；项目具有巨大、稳定、增长的现金流收入。因此，政府可通过采取多种转移支付政策手段，把现代有轨电车带来的外部效益内部化，建立项目投资、运营所需的稳定资金来源。参照地铁项目的经验，通常在投融资模式上，可采取以下两种方式：

（1）政府主导的负债型投融资方式　在政府主导下，政府提供一定资本金基础上，充分发挥政府信用，利用多元化的债务融资手段，降低融资成本，短时间内筹措巨额建设资金，确保完成本项目的建设任务；在项目运营期内，通过多种手段统筹解决项目的还本付息问题。

采用此种投融资方式，需要政府财政先期进行现金投入，利用杠杆作用带动大部分债务资金完成项目建设。

苏州高新区现代有轨电车1号线采用的就是该种模式。苏州高新区现代有轨电车1号线贯穿苏州高新区，线路全长18.19km，总投资为31.49亿元。由苏州市政府成立的苏州高新现代有轨电车有限公司提供项目资本金，并向银行贷款筹措项目的建设资金。该公司负责该项目的规划设计、投资、建设和运营等工作。该工程于2012年9月11日开工建设，2015年1月18日正式通车试运营。

（2）政府主导的市场化投融资方式　在政府的主导下，采取建设-移交（BT）模式或政府和社会资本合作（PPP）模式引入社会资本，政府与社会资本通过协议形成合作伙伴关系，共同投资建设、运营公共设施项目。在这种模式下，可充分吸引社会资本，促进项目建设、运营领域的多元化、市场化，引入适度竞争机制，提高资金使用效率，提升建设、运营水平。政府将与投资人共享投资收益，共担投资风险和责任。

BT模式在现代有轨电车项目中应用的典型案例有沈阳浑南新区现代有轨电车一期工程、南京河西新区现代有轨电车项目等。

PPP模式在现代有轨电车项目中应用的典型案例有淮安现代有轨电车一期工程、深圳市龙华新区现代有轨电车示范线工程等。

由于BT模式只能解决政府短期融资，在财预〔2012〕463号文、国办发〔2015〕42号文、财金〔2015〕57文发布后，BT模式被限制，因此BT模式在城市轨道交通中的应用已经很少。

PPP模式是政府在城市基础设施建设中主推的模式，相继发布了许多政策法规，且对PPP模式与产业基金的结合、PPP模式与资产证券化的结合都出台了相应的规定。

因此，本篇将介绍BT、PPP、轨道+物业、资产证券化、产业基金等模式，以便为现代有轨电车投融资模式的选择及应用提供借鉴。

第17章 现代有轨电车BT模式

17.1 BT模式的概念

BT（Build Transfer）模式，即建设-移交模式，是指由BT项目发起人（一般为政府或政府授权机构）通过法定程序选择拟建的基础设施或公用事业项目的BT项目主办人，并由该BT项目主办人在项目建设期内组建BT项目公司进行投资、融资和建设，项目建成竣工验收合格后由BT项目发起人回购，并向BT项目主办人支付回购价款的一种项目投融资建设模式。一般，BT项目主办人也称为BT项目投资方，其为了融资、建设和管理承建的BT项目而在BT项目所在地成立的公司就是BT项目公司。

17.2 BT模式的主要类型

1. 施工二次招标型BT模式

在施工二次招标型BT模式中，BT项目发起人通过招投标或竞争性谈判方式选定BT项目投资方，而后由BT项目投资方组建具有法人资格的BT项目公司。在该种模式下，BT项目投资方仅承担投资职能，BT项目公司履行建设单位的职责，负责项目的融资、建设管理以及完工项目的移交等工作，另外，对施工承包商、监理单位以及供货商的选择和管理也由BT项目公司负责。施工二次招标型BT模式的最大特点是BT项目发起人选择BT项目投资方时没有确定施工承包商，BT项目公司另外再通过公开的招投标程序选定BT项目的施工承包商，如图17-1所示。

2. 直接施工型BT模式

在直接施工型BT模式中，BT项目发起人通过招投标或竞争性谈判方式选定的BT项目投资方不仅承担投资职能，还要承担主体工程的施工，因此在确定BT项目投资方时，也会明确承担项目主要施工任务的施工承包商，一般是BT项目投资方之一或其下属单位，并且BT项目投资方也要设立具有法人资格的BT项目公司作为建设单位对BT项目进行融资、建设管理以及完工项目的移交等工作。直接施工型BT模式的最大特点是BT项目公司不再通过招投标选定施工承包商，而是直接按BT项目投资建设合同的约定，与此前明确的施工承包商签订施工合同，因此，施工承包商与BT项目公司之间存在一定的利益关系。在这种模式中，监理单位一般由BT项目发起人和BT项目公司

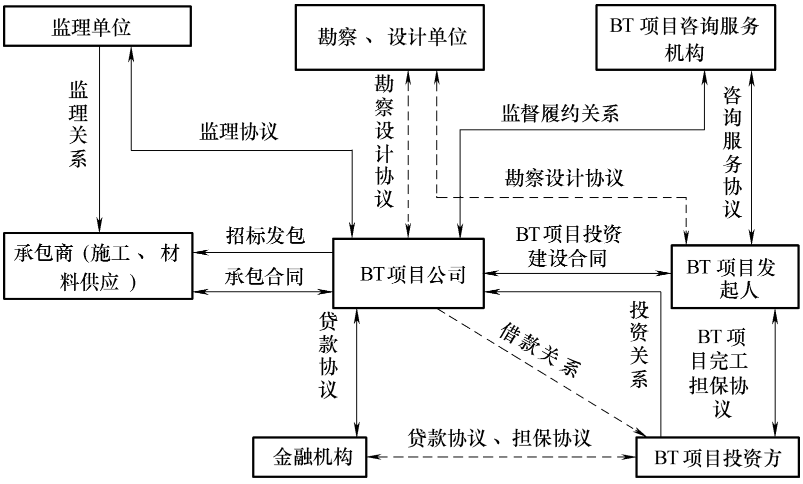


图 17-1　施工二次招标型 BT 模式

共同委托，如图 17-2 所示。

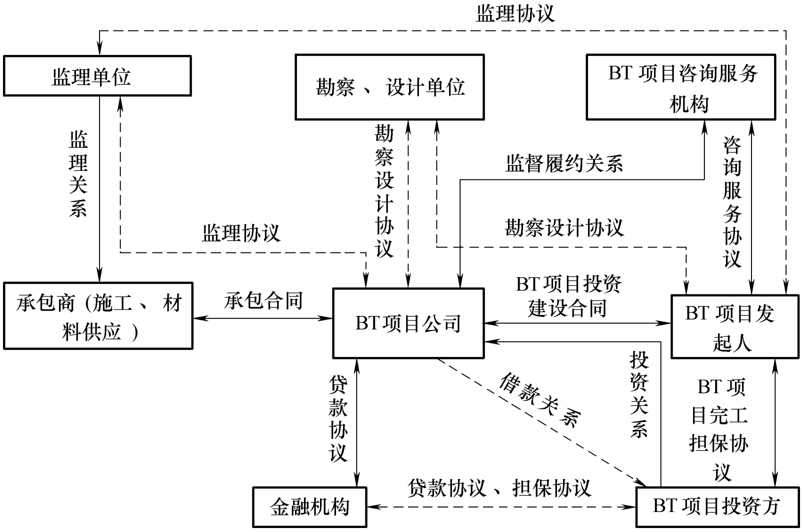


图 17-2　直接施工型 BT 模式

3. 施工同体型 BT 模式

在施工同体型 BT 模式中，BT 项目发起人通过招投标和竞争性谈判方式选定 BT 项目投资方同时承担投资、融资、建设以及完工项目的移交任务，BT 项目投资方不成立法人资格的 BT 项目公司，而是设立不具有法人资格的项目管理机构来负责 BT 项目的建设管理工作，因其不具有法人资格，所以无法办理相关的审批手续，也无法与工程建设的有关单位签订合同。施工同体型 BT 模式的最大特点是 BT 项目投资方与施工承包商直接同体。在这种模式中，勘察单位、设计单位、监理单位一般由 BT 项目发起人委托，如图 17-3 所示。

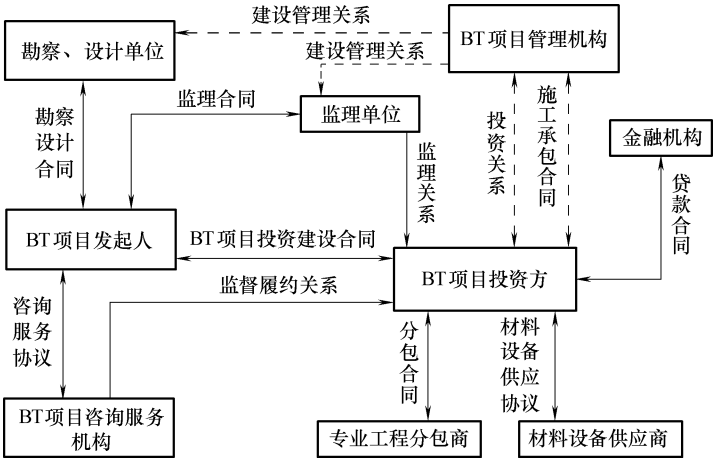


图 17-3 施工同体型 BT 模式

17.3 BT 项目的运作与实施

1. 项目前期准备

在项目前期准备阶段，一般由 BT 项目发起人（一般为当地政府主管部门或其授权的轨道交通公司等）确定 BT 项目的实施方案，并且完成 BT 项目的方案报批。

此阶段的主要目标是论证 BT 项目实施的必要性、可行性，确定 BT 项目实施方案，完成工程勘察、设计等前期工作。必要时，应完成工程的初步设计批复，由项目发起人完成工程开工前的各项准备工作。

BT 实施方案主要包括 BT 项目概况、招标、BT 项目公司组建、融资、建设、回购安排、移交及建设协调监管等内容。

2. BT 招投标

BT 项目实施方案确定后，BT 项目发起人一般要聘请财务、法律、技术等专业服务机构，着手 BT 的招标准备工作，通常需要准备投标人须知、BT 投资建设协议、项目建设标准等全套招标文件，并落实回购担保等。

招标文件准备就绪后，BT 项目发起人应按照招投标的有关规定，通过招投标方式确定 BT 项目主办人。与一般的施工招投标主要关注投标人的施工管理能力不同，BT 方式下还要看投标人是否具有良好的融资能力和建设管理能力。同时，由于 BT 项目非常复杂，涉及土地提供、融资、建设规模、施工组织、回购价格、质量监督和验收、项目移交等一系列活动，招标完成后，BT 项目发起人通常与 BT 项目主办人往往需要就 BT 投资建设协议进行谈判。

3. BT 项目公司的组建

BT 项目主办人在中标后，要根据 BT 投资建设协议设立具有独立法人资格的 BT 项目公司，并由成立的 BT 项目公司作为建设单位负责项目前期、融资、建设管理以及验收移交等工作。

BT 项目公司虽然并非投资建设合同的一方当事人，但需在 BT 投资建设合同中约定，项

目公司成立后，项目公司和 BT 项目主办人需向 BT 项目发起人出具书面承诺书，将 BT 项目主办人在 BT 投资建设合同中的投资建设部分权利义务转移到 BT 项目公司。尽管如此，BT 项目主办人仍需协助 BT 项目公司融资并承担履行 BT 合同的不可撤销的连带责任。

4. BT 项目融资建设

BT 项目公司作为 BT 项目的建设单位，将履行业主职责，按 BT 合同约定，组织完成 BT 工程的建设管理工作，包括：

1）与勘查、设计、监理等相关单位签订勘查、设计以及监理合同。BT 项目公司作为建设单位应以自己的名义进行立项（变更立项），并且聘请勘查、设计及监理单位。实践中，不排除项目立项不从 BT 项目发起人变更到 BT 项目公司名下，也不排除 BT 项目发起人对项目深度介入，勘查和设计工作由 BT 项目发起人组织完成以及 BT 项目发起人聘请监理单位进行监理等情形。

2）筹集项目建设资金，签订银行贷款协议等。项目建设资金除了 BT 项目公司的股东（包括 BT 项目主办人）投入以外，其余资金还需要 BT 项目公司以银行贷款、信托计划等方式筹措解决。在 BT 项目公司申请银行贷款时，可能要求其股东（包括 BT 项目主办人）提供担保，部分项目甚至存在 BT 项目发起人提供担保的情况。

3）BT 项目公司需要确定施工单位和材料供应商，但选择的方式会有所差异。如前所述，在施工二次招标型 BT 下，施工单位与材料供应商应通过招投标方式确定，但在直接施工型 BT 下，施工单位与材料供应商往往是 BT 项目公司的股东，主要是 BT 项目主办人或其关联企业，往往不再进行招投标。

5. 项目移交及回购

BT 项目公司在组织工程竣工验收后，按 BT 合同约定需向 BT 项目发起人或其指定的运营管理机构移交，由 BT 项目发起人向 BT 项目主办人或项目公司支付合同价款回购该 BT 项目。支付的方式可以是一次性支付，也可以分期支付，具体支付安排由双方在 BT 中约定。

6. 建设协调监管

在工程建设阶段，为确保 BT 项目公司履行 BT 投资建设合同，一般情况下，发起人需对 BT 项目公司的管理行为进行监管。具体监管行为及相关建设协调机制，在 BT 投资建设合同中应有详细约定。

17.4 BT 项目的投资分析

1. BT 项目的尽职调查

（1）BT 项目尽职调查步骤

1）准备调研清单。在得到项目信息后，投资者必须制定尽职调查的详细计划和调查清单，并确定调查的核心问题。调研清单分为资料调查清单和访谈调查清单，清单的内容一般可从回购方基本情况、项目批复情况、项目工程情况、项目进展计划等方面逐一准备。清单中必须包括调研时必须重点调查、注意的问题等事项。

2）查阅资料。在收集和查阅与项目相关的资料时，BT 项目一般主要对以下资料进行认真研究和审核。

① 政府批文：包括各级政府关于该项目的规划、会议纪要、可行性批复、环境保护、

土地、拆迁、建设许可等各方面的文件。这类资料中关于该项目的 BT 模式是否已经取得政府相关部门或主要领导的同意是非常重要的资料。可行性批复是项目实施的必要条件，土地和环境批复也是投资者进行判断的关键资料。

② 可行性报告：包括项目的工程可行性分析、经济评价、环境评价等。

③ 相关各方的基本资料：包括政府的经济发展情况、城市规划、财政预算报告以及回购方（企业）的营业执照、税务登记、财务报表、预算、计划等。

④ 工程资料：包括工程设计图样、施工地质条件等。

3）展开调研。按照上述清单，投资者需要组织人员开展各种方式的调研，必要时可委托中介机构，如律师事务所、会计师事务所以及咨询公司等负责或协助调研。

4）资料汇总。对于上述调研所获得的各种形式的资料，如文件、语音、会议纪要、图样、谈话记录等都必须由专人负责汇总，并进行文档编制，以便查阅。

此外，实施尽职调查的方式主要包括查阅资料、电话调研、访谈、现场踏勘等方法。一般情况下，这些方式在每个项目中都可能用到，必须根据项目的进展和需要进行统筹安排。

（2）调研的内容

1）工程前期的准备工作。工程前期已经进行了哪些准备工作，是 BT 项目需要调研的主要内容之一，其中包括该项目的可研报告、立项等，以及项目的推进已经进行到何种程度等。对于此类问题进行调研时，涉及的具体调研内容如下：

① 本项目是否纳入了政府年度建设计划。能列入政府年度建设计划的，大多是当地重大项目，地方政府主管部门往往也会采用多种方式对项目进行推动，在立项批复、土地、环评等方面也较易得到政府的支持，这也就基本锁定了项目的政策性风险。

② 本项目的相关批文和报告。具体来讲包括项目的立项批文、用地批文、建设许可证、开工报告、竣工验收报告、审计报告以及各种有关项目审批的文件、会议纪要等。这些文件都是项目正常开展的必需法律材料，任何文件的缺失或者不完整都是项目的法律瑕疵。

③ 工可报告的估算投资。工可报告的估算投资一般是 BT 项目暂定回购基数的确定依据，在没有最终确定回购基数之前作为回购方支付回购款的本金。

④ 项目前期费用的安排。工程前期的准备工作还包括项目前期费用的安排是如何考虑的，政府是否可以对项目征地拆迁实行“包干”，即按初步设计概算中的“征地拆迁费用额”为上限，由政府负责实施。前期费用在一般建设项目中都有较大的不确定性，浮动很大，其安排对项目有几个关键作用：一是关系到 BT 项目的投资总额，如果是政府承担，则投资者只需承担工程建设费用；二是政府是否包干前期费用对投资者控制整个投资总额至关重要，如果不包干则可能造成前期费用的巨大不确定性。

2）工程情况。项目的工程情况主要包括工程技术、工程地质、工程预算、概算等内容。具体调研内容如下：

① 本项目属于何种性质，是否为地方重点建设项目。地方重点建设项目往往会因为得到政府的高度重视，因而能获得较多当地政府特殊的支持政策，容易取得工程所经地的乡镇、街道，以及交通、建设、财政、税务、水利、市容管理等多方支持，为项目发展提供了较好的推动环境。

② 项目的工程地质条件以及施工难度。一般基础实施项目的工程环境主要有软土、岩石、平原、微丘、山区等，关系到项目的施工难度，以及项目实施过程中的风险，在评估项

目时也要加以考虑。

③ 项目工期的安排以及前期动拆迁进度的控制。目前，政府基建项目一般要求建设周期较短，前期动迁也要求时间紧张，所以，选择项目时，也必须对项目的实施进度进行分析，判断其合理性和可行性。

④ 项目工程概算、预算的计算标准。根据以往的建设经验，通过初步设计阶段的设计优化达到降低工程造价的潜力有多大等。项目进行优化设计方案和施工方案的潜力关系到项目盈利空间的大小，因为 BT 项目的利润很大一部分来自工程建设成本的节省，因此对工程概算、预算的核实和评价非常重要，必须由具有专业资格的人士来进行重新评估。

3）商务条件。BT 项目的商务条件包括回购方式、回购期限、回购进度、回报率、担保方式、合作方式等。这些都是商务条件部分需要重点调研的内容。具体调研内容如下：

① 本项目是否实行项目法人制并采用 BT 的建设模式。基建项目实行项目法人制是建设部的规定，明确由一个独立的法人主体来承担项目的投资、建设，项目法人制往往也是区别一般施工企业带资承包的主要特点。

② 本项目的回购期以及投资收益率。回购期、收益率是 BT 项目的关键要素，对项目的投资决策至关重要。一般情况下，BT 项目的回购期在 3 ~ 8 年，并且呈现项目越小、期限越短的趋势。投资收益率主要是指政府给投资者支付的资金占用成本，一般参考同期贷款利率来决定。

③ 回购方基本概况。如果回购方是企业，须了解公司概况说明、办公地址、财务状况等；如果回购方是政府，须了解政府连续三年年度财政预算、决算报告（或资金平衡表）、政府工作报告等。回购方的基本资料对于判断项目的回购风险至关重要，所以应尽可能多获取相关信息。其中，尤其是政府的财政预算和决算报告，以及政府年度工作报告更为有价值，可以看出政府的财政增长趋势，并且可以得到政府每年列入基础设施建设的资金计划，为评估政府的回购能力起重要作用。

④ 回购资金的担保方式。项目的回购资金往往需要进行担保，因而采用什么形式的担保往往是投资人最为关注的内容，也是降低投资者回购风险的最重要因素。一般情况下，投资者希望政府或相关机构能对回购资金进行担保，采用的方式主要有列入财政预算、出具银行保函、企业担保、土地质押等，这些都是降低回购风险的有效方式。

⑤ 项目竞争态势。若能知悉其他竞争者情况，将有利于投资者更好地调整商务条件、投资策略，更充分地判断项目成功的可能性。因而，其他投资商就本项目的接洽情况如何，是投资者进行谈判所应该了解和研究的背景资料之一。

⑥ 地方政府对项目融资的支持。很多地方政府都和当地的银行保持较好的合作关系，所以，投资者若想在当地进行项目融资，可能必须面对与当地银行等金融机构接洽的问题，如果地方政府能在协调金融机构了解项目、了解投资者方面出面，会对投资者实施项目融资带来方便，因此当地政府是否能对投资商在项目的贷款融资方面提供必要的支持，并积极引荐贷款行，也是投资者关心的问题之一。

4）工程财税政策。财税政策方面包括该地区该项目的税种、税率等。具体调研内容如下：

① 项目公司税收优惠。营业税和所得税在 BT 项目中占比较大的比重，但诸如所得税减免、缓征施工营业税等税收的优惠政策各地都不同，因而项目公司能享受哪些方面的税收优

惠政策，能够寻求怎样的税收政策支持是投资者比较关心的问题，同时也将直接影响项目的盈利能力。

② 招商引资政策优惠。地方政府对基础设施的招商引资有哪些优惠政策？如有，必须提供相关的政策文件。比如是否可将项目公司注册在开发区，并享受开发区的相关优惠政策等。

此外，尽职调查还必须对当地的地方性法规和特殊规定等进行关注，基础设施虽然属于国家发展改革委员会鼓励类项目，但由于各地的经济发展状况不同，对基础设施的建设标准、规划等都存在差异，所以，尽职调查时需要对当地有关的政策和规定摸底，以减少日后出现的各种政策障碍。

2. BT 项目投资可行性评估

通常情况下，投资者必须最终通过科学的可行性分析得到投资项目的可行性或者要进行投资所需要达到的项目各类边界条件，从而为投资决策提供重要依据。其中关键在于如何对 BT 项目进行可行性评估，要评估哪些方面，如何才能充分揭示项目的风险以及如何采取措施降低和回避风险等。

（1）BT 项目可行性评估内容　通常情况下，投资者对 BT 项目进行可行性评估的内容包括以下几个方面：

1）项目概况。项目概况包括整个项目的建设背景、建设的目的、政府的整体规划，以及项目建设内容及标准、工程的性质、项目的估算及概算、项目的运作模式、盈利模式和详细的操作结构设计等。

一般的 BT 项目模式运作结构主要是由多个投资者合资成立项目公司，项目公司负责投资并建设项目，政府负责监督、验收并接收项目，政府与项目公司签订回购协议，政府按照协议向项目公司支付回购款。

2）项目投资对于地方政府的意义。BT 项目主要是政府的公共设施，最终都应是政府出资，所以，建设 BT 项目对政府的意义是政府建设该项目的动力，也是 BT 项目需要评估的主要关注点之一。

3）项目投融资方案。这主要是描述项目的整体资金需求、资金计划安排、资本金安排、融资方案，以及引进其他合作投资者的方案等。

4）项目工程建设管理方案。BT 项目在建设实施过程中，区别于一般的基础设施项目，必须采用合适的管理方式，才能满足业主、投资方、建设方的共同利益诉求。目前，对于 BT 项目的管理模式主要有以下三种。

① 投资方自行管理：由投资方组建的项目公司直接履行建设管理职责，并负责招投标、材料采购、管理施工单位等，这种模式主要适合较小规模的 BT 项目。

② 联合管理：由投资方（项目公司）与业主（当地行业主管部门）组成联合工程建设指挥部，由指挥部负责项目的设计、监理、施工总承包商的招标、管理。这种方式适合较大规模和业主对项目进度、质量有更加特殊要求的重大工程。

③ 代建制：由投资方（项目公司）通过合同的形式与具有基础设施项目代理建设管理资质的企业法人，由其负责项目各种报批，组织实施勘察、设计、施工、监理、材料采购等招投标，负责对项目投资、质量、进度的控制，协调参建方、业主等之间的关系，负责工程竣工验收、资料归档等。这种方案适合超大规模、具有重要意义，并且投资方很难独立管理

的 BT 项目。

5）财务分析。财务分析对于投资方而言是非常关键的，客观、全面、正确的财务评价是对项目做出合理判断的重要依据，对处于盈利目的的投资者而言尤其如此。

BT 项目的财务分析首先必须确定各种控制性要素：回购基数、实际总投资额、投资收益率、工期、回购期、回购款支付形式、资本金比例、贷款利率、各种税率、工程款支付进度，以及管理费等各种费用的假定（合理假定）。

其次是建立合理的财务模型，根据建设项目的经济评价模型，结合 BT 项目的特点，目前国内一般以总投资、资本金内部收益率作为评价指标，以现金流量表进行计算，表 17-1 的分析模型被广泛采用。

表 17-1　BT 项目资本金内部收益率计算

序号	项 目 名 称	建设期/年		回购期/年					
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	现金流入								
1.1	回购本金								
1.2	回购收益								
	贷款本金								
	贷款本金余额								
2	现金流出								
2.1	投资								
2.2	支付工程尾款（以回购款支付）								
2.3	还贷本金								
2.4	财务费用								
2.5	管理费用								
2.6	营业税金及附加								
2.7	所得税								
3	税后净现金流量								
资本金内部收益率									

注：1. 表中建设期财务费用资本化，计入建设成本。
2. 回购款本金和回购收益须根据支付方式确定。
3. 资本金投资额一般不低于总投资的 35%。
4. 管理费用包括项目公司的日常运营费用。
5. 营业税和所得税须根据当地政策而定，一般营业税采用差额营业税制。

按照一般的评价标准，BT 项目的资本金内部收益率一般要比同期贷款利率高出 10% 以上才被认为项目可行。

6）实施方案。方案的实施主要是明确如何组建项目公司，采用何种项目管理方式，工程进度如何安排，如何控制项目工程质量，如何组织投融资方案，以及如何进行工程竣工验收等事项。

7）风险评估及防范。对于投资者而言，BT 项目的回购方能否按时履约支付回购款是最

大的风险，此外还有建设风险、政策风险、利率风险等。

8）投资可行性综合评价。在前述各种分析完成之后，对项目的投资可行性必须做出明确的判断，但同时也必须揭示项目的最主要风险，并提出相应的处理措施。

9）评估方法及关注要点。对 BT 项目的可行性评估，一般采取定性分析和定量分析两种方式。定性分析主要在项目的概况及风险分析中体现，要点在于项目本身的战略意义和对政府的重要性。定量分析在项目的财务分析中占主导地位，并在风险评估中起辅助作用，要点是关注财务模型的建立、基础数据的假定、边界条件的选择，以及计算过程的正确性。风险评估中的评分必须客观，注意各个因素的权重。

3. BT 项目的投资风险及评估

与大多数项目一样，BT 项目虽属基础设施一类，风险可能相对较小，但还是会面临诸如市场风险、建设风险、利率风险、政府信用风险、政策风险等。投资者必须通过分析、评估等方式全面了解这些风险，并提前准备规避和解决这些风险的措施。

（1）市场风险　BT 项目面临的市场风险主要是指取得 BT 项目过程的风险。因为大多数项目都必须经历一个漫长的谈判或者招标的程序，所以，如何把握项目、如何战胜竞争对手非常重要。在处理这个问题的时候，投资者一般必须保持良好的合作意愿，与政府（业主）进行充分的沟通，宣讲自身的优势，了解政府的意图，并且通过增值服务来赢得政府的信任，最终获取项目。

在控制市场风险的过程中，必须特别关注政府的诉求，明确政府想要达到或实现的目标，这样对顺利承接该项目，以及获得政府的长期支持都很关键。由于目前我国城市普遍处于基础设施需求膨胀的时期，若能在项目介入初期与当地政府建立一种长期合作共赢的战略伙伴关系，从而搭建了相互信任的平台，将会更有利于后续其他基础设施建设项目的跟进。

（2）建设风险　根据一般 BT 项目的合同，只有投资者完成项目的竣工验收，协议中业主履行的支付回购款的义务才生效。因此，在项目的建设期内，出现的任何质量、安全、进度的错误、延误、事故等不确定因素都将导致项目不能按时、及时验收，这样对项目的回购也将影响深远。

为解决这一问题，务必将项目的这些风险控制在事前，并选择合适的项目管理模式，制定详细的管理制度，并在以下三个方面进行有效控制：

1）投资控制：设计质量，概算、预算把关、设计变更签证等。

2）施工控制：施工单位的标后管理，工、料、机的管理，质量、安全、进度、文明施工等管理。

3）竣工管理：竣工时间控制、备案归档等。

针对 BT 项目的建设风险，一般应从设置双方互相制约的管理模式开始，并引入外部的项目管理咨询机构、代理机构，进而在回购协议中补充有关因外部不可预见因素及业主方原因造成的工程进度、方案变更等损失弥补措施，这样才能将项目的建设风险尽可能降低。

（3）利率风险　对于 BT 项目而言，利率风险主要存在于项目的回购期。回购期内，中国人民银行公布同期的贷款基准利率发生变化，可能导致融资成本上升，并影响到回购方支付的回购款的金额，进而影响到 BT 项目的投资收益，形成 BT 项目的利率风险。因此，在

项目BT模式设计之初，就应充分考虑到利率风险，将回购方须支付的项目投资收益率设定为浮动利率，即在一定范围（一般指央行贷款基准利率上下浮动0~100个BP）内，利率可不做调整，但超出这一范围，双方就必须按照新的基准利率调整投资收益率，并相应修改每年的回购金额，这样基本上可有效避免投资者和回购方的重大利率波动风险。

（4）回购风险　在回购期，投资人面临的主要风险是政府信用风险，政府能否按时支付回购款是BT项目的最大风险。因此，投资者一般在评价这方面的风险时都比较谨慎，参考很多商业银行和政策性银行的评估方法，现列出政府信用风险的典型定量评估模型（表17-2）。

表17-2　政府信用风险的典型定量评估模型

指　　标	满　　分	各　层　级	分配分值	得　　分
行政级别	10	省级、省会、直辖市	10	
		地区（国家级开发区）	7.5	
		县级（省级开发区）	5	
		县级以下	2.5	
GDP/亿元	10	>2000	10	
		1000~2000	9	
		500~1000	8	
		200~500	7	
		100~200	6	
		50~100	5	
		20~50	4	
		10~20	3	
		<10	2	
GDP增长率	6	年均增长10%及以上	6	
		年均增长8%至10%	5	
		年均增长6%至8%	4	
		年均增长4%至6%	3	
		年均增长2%至4%	2	
		年均增长不大于2%	1	
人均GDP/元	10	>15000	10	
		10000	7.5	
		5000	5	
		<2000	2.5	
区位	8	长江三角洲、环渤海直辖市	8	
		其他省会市	6	
		省内有竞争优势区域	4	
		其他	2	

（续）

指　　标	满　　分	各　层　级	分配分值	得　　分
本级财政一般预算总收入/亿元	10	50	10	
		15	7.5	
		8	5	
		2	2.5	
本级财政可支配收入/亿元	10	>30	10	
		>10	7.5	
		>5	5	
		>1	2.5	
一般预算本年收入/一般预算本年支出	6	>80%	6	
		>65%	5	
		>50%	4	
		>30%	3	
		<30%	2	
一般预算本年收入/一般预算总收入	4	>70%	4	
		>60%	3	
		>50%	2	
		>40%	1	
本级一般预算收入增长率	4	>20%	4	
		>15%	3	
		>10%	2	
		<10%	1	
专项转移收入比例	4	>40%	4	
		>30%	3	
		>20%	2	
		<20%	1	
建设性支出比例	8	40	8	
		30	6	
		25	4	
		20	2	
本级财政负债率	10	<30%	10	
		30%~50%	7.5	
		50%~70%	5	
		>70%	2.5	
综合得分				

根据表 17-2 模型评估，政府信用评估的各项得分若累计总分超过 60 分，即可认为政府

财力较好，回购风险相对较小。该模型评估得出的分数越高，说明政府的信用越好。

经上述模型评估后，针对政府信用较低的项目，必须要求政府方以担保的方式进行弥补，如设置第三方独立担保、履约保函、土地质押、将回购款的支付列入当地政府财政预算（或资金平衡计划）等补充措施来降低因政府无法按时履约造成的回购风险。

（5）总体评价　在实际操作中，很多投资者都希望有一个能全面体现对BT项目风险进行评估的体系，以实现BT项目较具可操作性的风险评估。经过一些企业长期实践，目前已形成一套相对较为成熟的BT项目风险评估体系，并建立了全面评估的模型，模型中设置了各项指标的不同权重，最终可以根据总分的高低来评价各个项目的风险度。BT项目的风险评估需要关注的内容包括回购主体的信用级别、项目担保的担保方式、地方土地政策、工程条件等，典型风险评估模型见表17-3。

根据表17-3风险评估模型来对BT项目进行评分，分数高的项目风险低，分数低的项目风险则高，一般情况下，往往将分数低于60分的项目归类为投资风险较大类项目。

表17-3　BT项目风险评估模型

得分	回购主体	担保方式	基数确定	回购期限	土地政策	工程条件	自主管理	融资方式	协议文本
10	省级政府	列入财政预算	工可概算	3年，浮动利率	施工期有土地权证	平地，拆迁完成	交钥匙工程	完全项目融资	充分考虑风险
8	地市级政府及省级单位、企业	列入单位资金计划	施工图预算，单价开口	5年，浮动利率，加息次日开始计算	无土地权证，政府开工前已办好手续	平原，拆迁未完成，干扰小	投资者选择代建，但受当地行业管理	项目融资与公司融资共存	风险基本考虑，未封口，可以补充
5	县、区级政府及地级单位、企业	财政承诺、联合国有投资性企业担保	施工图预算下浮，单价开口	6年，加息次年元旦开始计算	政府开工前未办好手续，但有承诺	地质条件差，拆迁完成，有干扰	总包自主管理	母公司担保融资	风险考虑有欠缺，但未封口
3	经济欠发达地区相应降一级	国有企业担保	施工图预算，单价闭口	8年及以上，加息次年元旦开始计算	无土地权证，无政府承诺	地质条件差，拆迁未完，干扰大	指定代建，总包受限	其他商业性担保融资	风险考虑有欠缺，已封口，无法弥补
权重	1.5	1.5	1	1	1.5	0.5	0.5	1	0.5
加权分									
总分									

注：1. 10分机动，针对项目谈判主体的态度，及回购方实施项目的意愿酌情打分。

2. 上述分值可以作为评价项目风险的重要参数。

在国内BT项目的实际操作中，投资的可行性分析主要集中在对当地政府的信用评价上，并应结合项目的担保形式、工程地质环境等方面进行综合评估，在财务（资本金）内部收益率超过同期贷款利率的前提下，再得出较为合理的结论。与此同时，结合项目可能遇

到的重要风险点，设计包括列入财政预算、加强违约责任、第三方担保、工程保险、引入工程建设代理机构等风险处置措施，避免项目执行过程中投资者承担过多的风险，保障项目的顺利实施。

17.5　现代有轨电车 BT 模式案例分析

1. 沈阳市浑南新区现代有轨电车一期工程

沈阳市浑南新区现代有轨电车项目为第十二届全运会配套工程，一期工程共设 4 条线路，线路总长约 60km，工程总投资额约 50 亿元（不含扩路等配套工程约 10 亿元），采用 BT 模式建设，如图 17-4 所示。该工程于 2012 年 4 月 28 日开工建设，2013 年 8 月 15 日载客正式运营。

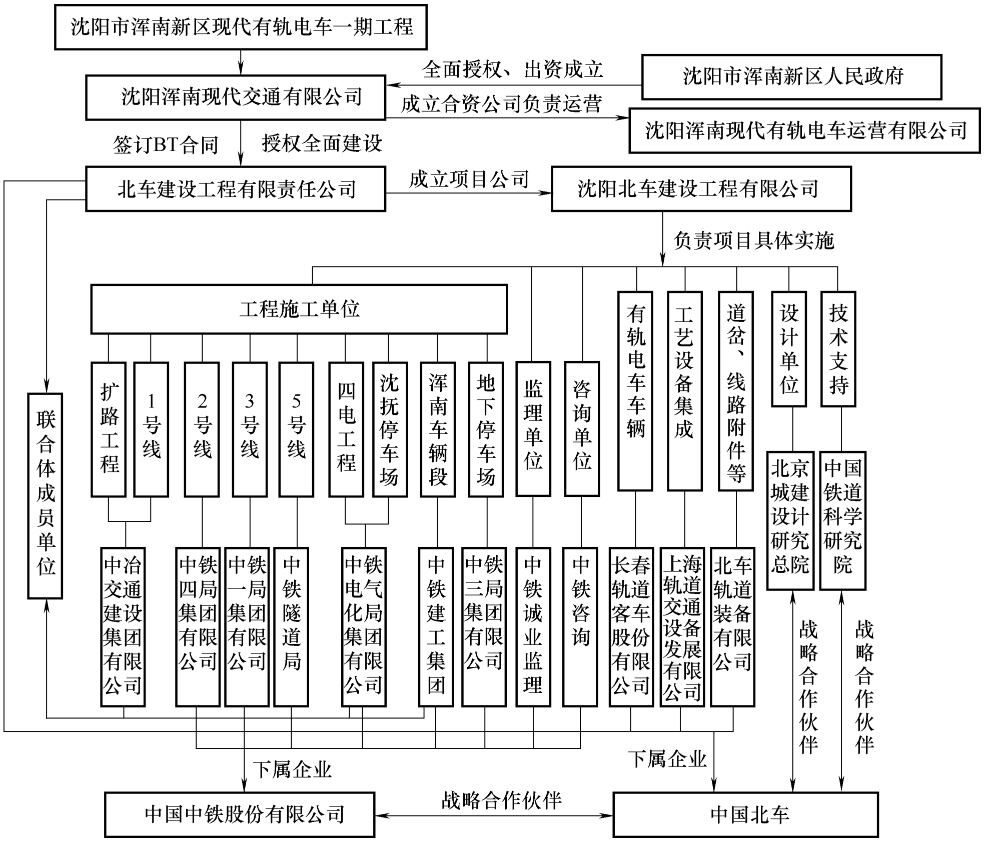


图 17-4　BT 项目合同关系

浑南新区政府组建沈阳浑南现代交通有限公司，作为 BT 项目发起人，以项目最终业主的身份参与项目的全过程运作，承担相应的项目管理职能。北车建设工程有限责任公司（下文简称“北车建工”）作为牵头人联合中冶交通建设集团有限公司、中国中铁股份有限公司、中铁电气化局集团有限公司组建的联合体作为 BT 项目承包方，承担 BT 项目的投资建设、施工总承包、施工管理、移交等工作。北车建工独资设立 BT 项目公司沈阳北车建设

工程有限公司注册资本 2 亿元，由 BT 项目公司招标确定项目的咨询单位、监理单位和施工单位，各司其职，确保工程达到建设项目安全、质量、工期和投资的目标。

自项目移交证书签发之日起进入回购期，合同价款分三年分别按 40%、30%、30% 支付，分别于进入回购期后每 12 个月内付款一次。

浑南新区现代有轨电车一期工程一次建成 60km、一次就投入 30 辆新型低地板现代有轨电车，是国内首个一次成网建设、成网运营的现代有轨电车工程。

2. 南京河西新区现代有轨电车项目

南京河西新区现代有轨电车项目位于河西新城区，线路全长 7.76km，总投资 12 亿元，采用 BT 模式建设。该工程于 2013 年 10 月开工建设，2014 年 8 月 1 日（南京青年奥林匹克运动会开幕之前）正式通车试运营。

业主为南京市河西新城区国有资产经营控股（集团）有限责任公司（以下简称“河西国资集团”）。BT 承包方是由南车南京浦镇车辆有限公司、中铁二局股份有限公司、国电南京自动化股份有限公司、浙江广发建设股份有限公司和南京轨道交通系统工程有限公司组成的联合体。项目采取了一体化招标方式，由 BT 方承担项目的投融资和建设。BT 方中的南京南车浦镇车辆有限公司、国电南京自动化股份有限公司、浙江广发建设工程有限公司和南京轨道交通系统工程有限公司共同出资组建项目公司南京河西新城新型现代有轨电车建设有限公司，注册资本 3.4 亿元，其余资金通过融资解决。BT 方内部进一步分工，根据专业性分别负责投融资、施工、车辆、强电系统、弱点系统、信号系统等部分。

项目从 2014 年 8 月 1 日起，以半年为间隔分七期支付回购款，第七期回购款支付时，项目公司股权一次性完成变更。

第 18 章 现代有轨电车PPP模式

18.1 PPP 模式的定义及种类

1. PPP 模式的定义

PPP 模式，政府和社会资本合作（public private partnership，简称 PPP）是指政府和社会资本在基础设施及公共服务领域建立一种长期合作关系，旨在利用市场机制分配风险，提高公共产品和服务的供给数量、质量和效率。通常模式是由社会资本承担设计、建设、运营、维护基础设施的大部分工作，并通过使用者付费及必要的政府补贴获得合理投资回报。政府或委托部门负责基础设施及公共服务价格和质量监管，以保证公共利益最大化。

参照财政部《关于规范政府和社会资本合作合同管理工作的通知》（财金〔2014〕156号）的有关要求，政府、社会资本开展城市轨道交通建设项目的通用 PPP 架构如图 18-1 所示。PPP 项目合同指南（试行）明确 PPP 项目公司可以由社会资本（可以是一家企业，也可以是多家企业组成的联合体）出资设立，也可以由政府和社会资本共同出资设立。政府在项目公司中的持股比例应当低于 50% 且不具有实际控制力及管理权。

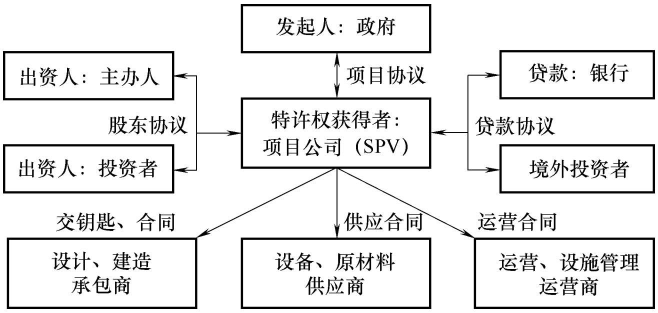


图 18-1　PPP 模式架构

2. PPP 模式的种类

依据财政部《关于印发政府和社会资本合作模式操作指南（试行）的通知》（财金〔2014〕113 号），PPP 项目运作方式主要包括委托运营（operations & maintenance，简称 O&M）、管理合同（management contract，简称 MC）、建设-运营-移交（build operate transfer，简称 BOT）、建设-拥有-运营（build own operate，简称 BOO）、转让-运营-移交（trans-

fer operate transfer，简称 TOT）和改建-运营-移交（rehabilitate operate transfer，简称 ROT）等。

委托运营（operations & maintenance，O&M），是指政府将存量公共资产的运营维护职责委托给社会资本或项目公司，社会资本或项目公司不负责用户服务的政府和社会资本合作项目运作方式。政府保留资产所有权，只向社会资本或项目公司支付委托运营费。合同期限一般不超过 8 年。

管理合同（management contract，MC），是指政府将存量公共资产的运营、维护及用户服务职责授权给社会资本或项目公司的项目运作方式。政府保留资产所有权，只向社会资本或项目公司支付管理费。管理合同通常作为转让-运营-移交的过渡方式，合同期限一般不超过 3 年。

建设-运营-移交（build operate transfer，BOT），是指由社会资本或项目公司承担新建项目设计、融资、建造、运营、维护和用户服务职责，合同期满后项目资产及相关权利等移交给政府的项目运作方式。合同期限一般为 20～30 年。

建设-拥有-运营（build own operate，BOO），由 BOT 方式演变而来，二者的区别主要是 BOO 方式下社会资本或项目公司拥有项目所有权，但必须在合同中注明保证公益性的约束条款，一般不涉及项目期满移交。

转让-运营-移交（transfer operate transfer，TOT），是指政府将存量资产所有权有偿转让给社会资本或项目公司，并由其负责运营、维护和用户服务，合同期满后资产及其所有权等移交给政府的项目运作方式。合同期限一般为 20～30 年。

改建-运营-移交（rehabilitate operate transfer，ROT），是指政府在 TOT 模式的基础上，增加改扩建内容的项目运作方式。合同期限一般为 20～30 年。

PPP 项目分为经营性、非经营性、准经营性项目。经营性项目由使用者付费；非经营性项目由政府付费；准经营性项目在使用者付费不足以覆盖项目公司的建设投资和运营成本时，由政府进行可行性缺口补贴。

使用者付费（user charge），是指由最终消费用户直接付费购买公共产品和服务。

可行性缺口补助（viability gap funding），是指使用者付费不足以满足社会资本或项目公司成本回收和合理回报，而由政府以财政补贴、股本投入、优惠贷款和其他优惠政策的形式，给予社会资本或项目公司的经济补助。

政府付费（government payment），是指政府直接付费购买公共产品和服务，主要包括可用性付费（availability payment）、使用量付费（usage payment）和绩效付费（performance payment）。政府付费的依据主要是设施可用性、产品和服务使用量和质量等要素。

18.2 PPP 项目的操作流程

根据财金〔2014〕113 号《政府和社会资本合作模式操作指南（试行）》的规定，政府、社会资本和其他参与方开展政府和社会资本的合作，合作项目须经过识别、准备、采购、执行和移交等活动，流程如图 18-2 所示。

1. 项目识别

投资规模较大、需求长期稳定、价格调整机制灵活、市场化程度较高的基础设施及公共

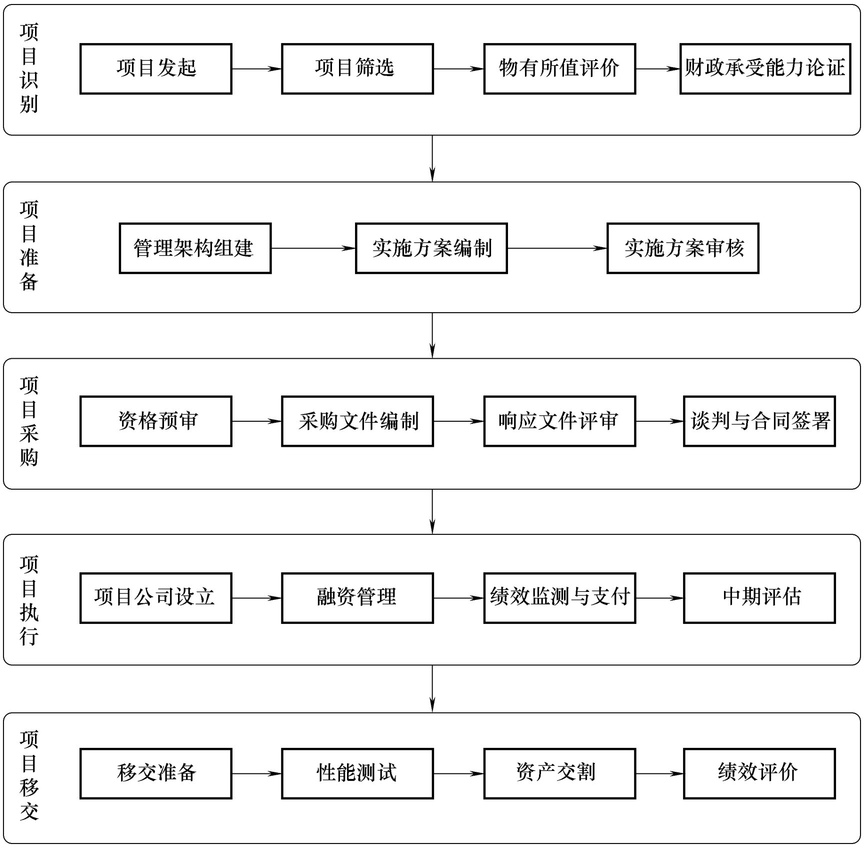


图 18-2　PPP 模式流程

服务类项目，适宜采用政府和社会资本合作模式。

政府和社会资本合作项目由政府或社会资本发起，以政府发起为主。

政府发起是指财政部门（政府和社会资本合作中心）应负责向交通、住建、环保、能源、教育、医疗、体育健身和文化设施等行业主管部门征集潜在政府和社会资本合作项目。行业主管部门可从国民经济和社会发展规划及行业专项规划中的新建、改建项目或存量公共资产中遴选潜在项目。

社会资本发起是指社会资本应以项目建议书的方式向财政部门（政府和社会资本合作中心）推荐潜在政府和社会资本合作项目。

财政部门（政府和社会资本合作中心）会同行业主管部门，对潜在政府和社会资本合作项目进行评估筛选，确定备选项目。财政部门（政府和社会资本合作中心）应根据筛选结果制定项目年度和中期开发计划。

对于列入年度开发计划的项目，项目发起方应按财政部门（政府和社会资本合作中心）的要求提交相关资料。新建、改建项目应提交可行性研究报告、项目产出说明和初步实施方案；存量项目应提交存量公共资产的历史资料、项目产出说明和初步实施方案。

财政部门（政府和社会资本合作中心）会同行业主管部门，从定性和定量两方面开展物有所值评价工作。定量评价工作由各地根据实际情况开展。定性评价重点关注项目采用政

府和社会资本合作模式与采用政府传统采购模式相比能否增加供给、优化风险分配、提高运营效率、促进创新和公平竞争等。定量评价主要通过对政府和社会资本合作项目全生命周期内政府支出成本现值与公共部门比较值进行比较，计算项目的物有所值量值，判断政府和社会资本合作模式是否降低项目全生命周期成本。

为确保财政中长期可持续性，财政部门应根据项目全生命周期内的财政支出、政府债务等因素，对部分政府付费或政府补贴的项目，开展财政承受能力论证，每年政府付费或政府补贴等财政支出不得超出当年财政收入的一定比例。

通过物有所值评价和财政承受能力论证的项目，可进行项目准备。

2. 项目准备

县级（含）以上地方人民政府可建立专门的协调机制，主要负责项目评审、组织协调和检查督导等工作，实现简化审批流程、提高工作效率的目的。政府或其指定的有关职能部门或事业单位可作为项目实施机构，负责项目准备、采购、监管和移交等工作。

项目实施机构应组织编制项目实施方案，依次对以下内容进行介绍：

（1）项目概况　项目概况主要包括基本情况、经济技术指标和项目公司股权情况等。

基本情况主要明确项目提供的公共产品和服务内容、项目采用政府和社会资本合作模式运作的必要性和可行性，以及项目运作的目标和意义。

经济技术指标主要明确项目区位、占地面积、建设内容或资产范围、投资规模或资产价值、主要产出说明和资金来源等。

项目公司股权情况主要明确是否要设立项目公司以及公司股权结构。

（2）风险分配基本框架　按照风险分配优化、风险收益对等和风险可控等原则，综合考虑政府风险管理能力、项目回报机制和市场风险管理能力等要素，在政府和社会资本间合理分配项目风险。

原则上，项目设计、建造、财务和运营维护等商业风险由社会资本承担，法律、政策和最低需求等风险由政府承担，不可抗力等风险由政府和社会资本合理共担。

（3）项目运作方式　项目运作方式主要包括委托运营、管理合同、建设-运营-移交、建设-拥有-运营、转让-运营-移交和改建-运营-移交等。

具体运作方式的选择主要由收费定价机制、项目投资收益水平、风险分配基本框架、融资需求、改扩建需求和期满处置等因素决定。

（4）交易结构　交易结构主要包括项目投融资结构、回报机制和相关配套安排。

项目投融资结构主要说明项目资本性支出的资金来源、性质和用途，项目资产的形成和转移等。

项目回报机制主要说明社会资本取得投资回报的资金来源，包括使用者付费、可行性缺口补助和政府付费等支付方式。

相关配套安排主要说明由项目以外相关机构提供的土地、水、电、气和道路等配套设施和项目所需的上下游服务。

（5）合同体系　合同体系主要包括项目合同、股东合同、融资合同、工程承包合同、运营服务合同、原料供应合同、产品采购合同和保险合同等。项目合同是其中最核心的法律文件。

项目边界条件是项目合同的核心内容，主要包括权利义务、交易条件、履约保障和调整

衔接等边界。

权利义务边界主要明确项目资产权属、社会资本承担的公共责任、政府支付方式和风险分配结果等。

交易条件边界主要明确项目合同期限、项目回报机制、收费定价调整机制和产出说明等。

履约保障边界主要明确强制保险方案以及由投资竞争保函、建设履约保函、运营维护保函和移交维修保函组成的履约保函体系。

调整衔接边界主要明确应急处置、临时接管和提前终止、合同变更、合同展期、项目新增改扩建需求等应对措施。

（6）监管架构 监管架构主要包括授权关系和监管方式。授权关系主要是政府对项目实施机构的授权，以及政府直接或通过项目实施机构对社会资本的授权；监管方式主要包括履约管理、行政监管和公众监督等。

（7）采购方式选择 项目采购应根据《中华人民共和国政府采购法》及相关规章制度执行，采购方式包括公开招标、竞争性谈判、邀请招标、竞争性磋商和单一来源采购。项目实施机构应根据项目采购需求特点，依法选择适当采购方式。

公开招标主要适用于核心边界条件和技术经济参数明确、完整、符合国家法律法规和政府采购政策，且采购中不作更改的项目。

财政部门（政府和社会资本合作中心）应对项目实施方案进行物有所值和财政承受能力验证，通过验证的，由项目实施机构报政府审核；未通过验证的，可在实施方案调整后重新验证；经重新验证仍不能通过的，不再采用政府和社会资本合作模式。

3. 项目采购

项目实施机构应根据项目需要准备资格预审文件，发布资格预审公告，邀请社会资本和与其合作的金融机构参与资格预审，验证项目能否获得社会资本响应和实现充分竞争，并将资格预审的评审报告提交财政部门（政府和社会资本合作中心）备案。

项目有 3 家以上社会资本通过资格预审的，项目实施机构可以继续开展采购文件准备工作；项目通过资格预审的社会资本不足 3 家的，项目实施机构应在实施方案调整后重新组织资格预审；项目经重新资格预审合格社会资本仍不够 3 家的，可依法调整实施方案选择的采购方式。

资格预审公告应在省级以上人民政府财政部门指定的媒体上发布。资格预审合格的社会资本在签订项目合同前资格发生变化的，应及时通知项目实施机构。

资格预审公告应包括项目授权主体、项目实施机构和项目名称、采购需求、对社会资本的资格要求、是否允许联合体参与采购活动、拟确定参与竞争的合格社会资本的家数和确定方法，以及社会资本提交资格预审申请文件的时间和地点。提交资格预审申请文件的时间自公告发布之日起不得少于 15 个工作日。

项目采购文件应包括采购邀请、竞争者须知（包括密封、签署、盖章要求等）、竞争者应提供的资格、资信及业绩证明文件、采购方式、政府对项目实施机构的授权、实施方案的批复和项目相关审批文件、采购程序、响应文件编制要求、提交响应文件截止时间、开启时间及地点、强制担保的保证金交纳数额和形式、评审方法、评审标准、政府采购政策要求、项目合同草案及其他法律文本等。

采用竞争性谈判或竞争性磋商采购方式的，项目采购文件除上款规定的内容外，还应明确评审小组根据与社会资本谈判情况可能实质性变动的内容，包括采购需求中的技术、服务要求以及合同草案条款。

评审小组由项目实施机构代表和评审专家共 5 人以上单数组成，其中评审专家人数不得少于评审小组成员总数的 2/3。评审专家可以由项目实施机构自行选定，但评审专家中应至少包含 1 名财务专家和 1 名法律专家。项目实施机构代表不得以评审专家身份参加项目的评审。

项目采用公开招标、邀请招标、竞争性谈判、单一来源采购方式开展采购的，按照政府采购法律法规及有关规定执行。

项目采用竞争性磋商采购方式开展采购的，按照下列基本程序进行：

（1）采购公告发布及报名　竞争性磋商公告应在省级以上人民政府财政部门指定的媒体上发布。竞争性磋商公告应包括项目实施机构和项目名称、项目结构和核心边界条件、是否允许未进行资格预审的社会资本参与采购活动，以及审查原则、项目产出说明、对社会资本提供的响应文件要求、获取采购文件的时间、地点、方式及采购文件的售价、提交响应文件截止时间、开启时间及地点。提交响应文件的时间自公告发布之日起不得少于 10 日。

（2）资格审查及采购文件发售　已进行资格预审的，评审小组在评审阶段不再对社会资本资格进行审查。允许进行资格后审的，由评审小组在响应文件评审环节对社会资本进行资格审查。项目实施机构可以视项目的具体情况，组织对符合条件的社会资本的资格条件，进行考察核实。

采购文件售价，应按照弥补采购文件印制成本费用的原则确定，不得以营利为目的，不得以项目采购金额作为确定采购文件售价依据。采购文件的发售期限自开始之日起不得少于 5 个工作日。

（3）采购文件的澄清或修改　提交首次响应文件截止之日前，项目实施机构可以对已发出的采购文件进行必要的澄清或修改，澄清或修改的内容应作为采购文件的组成部分。澄清或修改的内容可能影响响应文件编制的，项目实施机构应在提交首次响应文件截止时间至少 5 日前，以书面形式通知所有获取采购文件的社会资本；不足 5 日的，项目实施机构应顺延提交响应文件的截止时间。

（4）响应文件评审　项目实施机构应按照采购文件规定组织响应文件的接收和开启。

评审小组对响应文件进行两个阶段的评审：

第一阶段：确定最终采购需求方案。评审小组可以与社会资本进行多轮谈判，谈判过程中可实质性修订采购文件的技术、服务要求以及合同草案条款，但不得修订采购文件中规定的不可谈判核心条件。实质性变动的内容，须经项目实施机构确认，并通知所有参与谈判的社会资本。具体程序按照《政府采购非招标方式管理办法》及有关规定执行。

第二阶段：综合评分。最终采购需求方案确定后，由评审小组对社会资本提交的最终响应文件进行综合评分，编写评审报告并向项目实施机构提交候选社会资本的排序名单。具体程序按照《政府采购货物和服务招标投标管理办法》及有关规定执行。

项目实施机构应在资格预审公告、采购公告、采购文件、采购合同中，列明对本国社会资本的优惠措施及幅度、外方社会资本采购我国生产的货物和服务要求等相关政府采购政策，以及对社会资本参与采购活动和履约保证的强制担保要求。社会资本应以支票、汇票、本票或金融机构、担保机构出具的保函等非现金形式缴纳保证金。参加采购活动的保证金的

数额不得超过项目预算金额的 2%。履约保证金的数额不得超过政府和社会资本合作项目初始投资总额或资产评估值的 10%。无固定资产投资或投资额不大的服务型合作项目，履约保证金的数额不得超过平均 6 个月的服务收入额。

项目实施机构应组织社会资本进行现场考察或召开采购前答疑会，但不得单独或分别组织只有一个社会资本参加的现场考察和答疑会。

项目实施机构应成立专门的采购结果确认谈判工作组。按照候选社会资本的排名，依次与候选社会资本及与其合作的金融机构就合同中可变的细节问题进行合同签署前的确认谈判，率先达成一致的即为中选者。确认谈判不得涉及合同中不可谈判的核心条款，不得与排序在前但已终止谈判的社会资本进行再次谈判。

确认谈判完成后，项目实施机构应与中选社会资本签署确认谈判备忘录，并将采购结果和根据采购文件、响应文件、补遗文件和确认谈判备忘录拟定的合同文本进行公示，公示期不得少于 5 个工作日。合同文本应将中选社会资本响应文件中的重要承诺和技术文件等作为附件。合同文本中涉及国家秘密、商业秘密的内容可以不公示。

公示期满无异议的项目合同，应在政府审核同意后，由项目实施机构与中选社会资本签署。

需要为项目设立专门项目公司的，待项目公司成立后，由项目公司与项目实施机构重新签署项目合同，或签署关于承继项目合同的补充合同。

项目实施机构应在项目合同签订之日起 2 个工作日内，将项目合同在省级以上人民政府财政部门指定的媒体上公告，但合同中涉及国家秘密、商业秘密的内容除外。

各级人民政府财政部门应当加强对 PPP 项目采购活动的监督检查，及时处理采购活动中的违法、违规行为。

PPP 项目采购流程如图 18-3 所示。

4. 项目执行

社会资本可依法设立项目公司。政府可指定相关机构依法参股项目公司。项目实施机构和财政部门（政府和社会资本合作中心）应监督社会资本按照采购文件和项目合同约定，按时足额出资设立项目公司。

项目融资由社会资本或项目公司负责。社会资本或项目公司应及时开展融资方案设计、机构接洽、合同签订和融资交割等工作。财政部门（政府和社会资本合作中心）和项目实施机构应做好监督管理工作，防止企业债务向政府转移。

社会资本或项目公司未按照项目合同约定完成融资的，政府可提取履约保函直至终止项目合同；遇系统性金融风险或不可抗力的，政府、社会资本或项目公司可根据项目合同约定协商修订合同中相关融资条款。

当项目出现重大经营或财务风险，威胁或侵害债权人利益时，债权人可依据与政府、社会资本或项目公司签订的直接介入协议或条款，要求社会资本或项目公司改善管理等。在直接介入协议或条款约定期限内，重大风险已解除的，债权人应停止介入。

项目合同中涉及的政府支付义务，财政部门应结合中长期财政规划统筹考虑，纳入同级政府预算，按照预算管理的相关规定执行。财政部门（政府和社会资本合作中心）和项目实施机构应建立政府和社会资本合作项目政府支付台账，严格控制政府财政风险。在政府综合财务报告制度建立后，政府和社会资本合作项目中的政府支付义务应纳入政府综合财务报告。

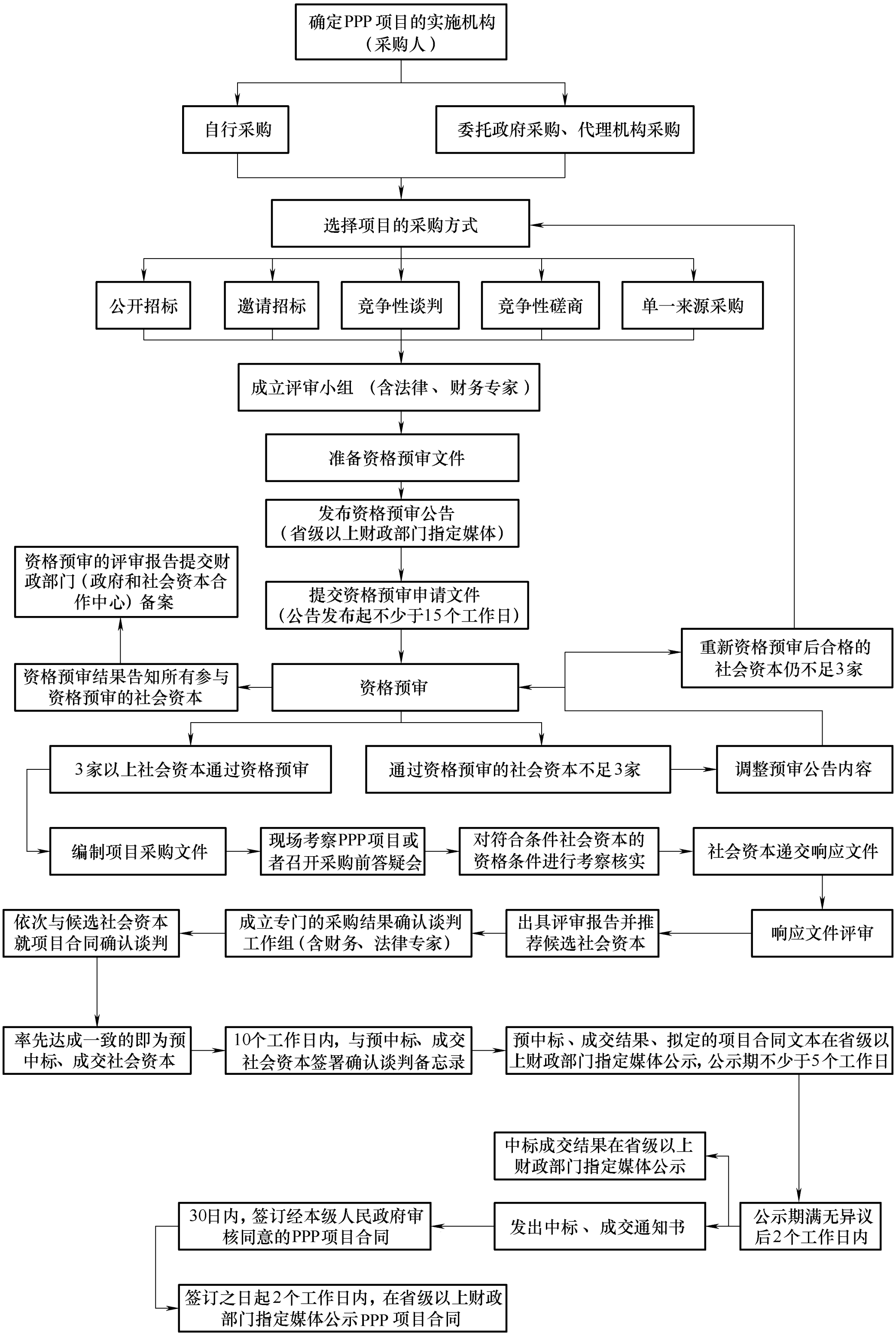


图 18-3 PPP 项目采购流程

项目实施机构应根据项目合同约定，监督社会资本或项目公司履行合同义务，定期监测项目产出绩效指标，编制季报和年报，并报财政部门（政府和社会资本合作中心）备案。

政府有支付义务的，项目实施机构应根据项目合同约定的产出说明，按照实际绩效直接或通知财政部门向社会资本或项目公司及时足额支付。设置超额收益分享机制的，社会资本或项目公司应根据项目合同约定向政府及时足额支付应享有的超额收益。

项目实际绩效优于约定标准的，项目实施机构应执行项目合同约定的奖励条款，并可将其作为项目期满合同能否展期的依据；未达到约定标准的，项目实施机构应执行项目合同约定的惩处条款或救济措施。

社会资本或项目公司违反项目合同约定，威胁公共产品和服务持续稳定安全供给，或危及国家安全和重大公共利益的，政府有权临时接管项目，直至启动项目提前终止程序。

政府可指定合格机构实施临时接管。临时接管项目所产生的一切费用，将根据项目合同约定，由违约方单独承担或由各责任方分担。社会资本或项目公司应承担的临时接管费用，可以从其应获终止补偿中扣减。

在项目合同执行和管理过程中，项目实施机构应重点关注合同修订、违约责任和争议解决等工作。

（1）合同修订　按照项目合同约定的条件和程序，项目实施机构和社会资本或项目公司可根据社会经济环境、公共产品和服务的需求量及结构等条件的变化，提出修订项目合同申请，待政府审核同意后执行。

（2）违约责任　项目实施机构、社会资本或项目公司未履行项目合同约定义务的，应承担相应违约责任，包括停止侵害、消除影响、支付违约金、赔偿损失以及解除项目合同等。

（3）争议解决　在项目实施过程中，按照项目合同约定，项目实施机构、社会资本或项目公司可就发生争议且无法协商达成一致的事项，依法申请仲裁或提起民事诉讼。

项目实施机构应每 3 ~5 年对项目进行中期评估，重点分析项目运行状况和项目合同的合规性、适应性和合理性；及时评估已发现问题的风险，制订应对措施，并报财政部门（政府和社会资本合作中心）备案。

政府相关职能部门应根据国家相关法律、法规对项目履行行政监管职责，重点关注公共产品和服务质量、价格和收费机制、安全生产、环境保护和劳动者权益等。

社会资本或项目公司对政府职能部门的行政监管处理决定不服的，可依法申请行政复议或提起行政诉讼。

政府、社会资本或项目公司应依法公开披露项目相关信息，保障公众知情权，接受社会监督。

社会资本或项目公司应披露项目产出的数量和质量、项目经营状况等信息。政府应公开不涉及国家秘密、商业秘密的政府和社会资本合作项目合同条款、绩效监测报告、中期评估报告和项目重大变更或终止情况等。

社会公众及项目利益相关方发现项目存在违法、违约情形或公共产品和服务不达标准的，可向政府职能部门提请监督检查。

5. 项目移交

项目移交时，项目实施机构或政府指定的其他机构代表政府收回项目合同约定的项目

资产。

项目合同中应明确约定移交形式、补偿方式、移交内容和移交标准。移交形式包括期满终止移交和提前终止移交；补偿方式包括无偿移交和有偿移交；移交内容包括项目资产、人员、文档和知识产权等；移交标准包括设备完好率和最短可使用年限等指标。

采用有偿移交的，项目合同中应明确约定补偿方案；没有约定或约定不明的，项目实施机构应按照“恢复相同经济地位”原则拟定补偿方案，报政府审核同意后实施。

项目实施机构或政府指定的其他机构应组建项目移交工作组，根据项目合同约定与社会资本或项目公司确认移交情形和补偿方式，制定资产评估和性能测试方案。

项目移交工作组应委托具有相关资质的资产评估机构，按照项目合同约定的评估方式，对移交资产进行资产评估，作为确定补偿金额的依据。

项目移交工作组应严格按照性能测试方案和移交标准对移交资产进行性能测试。性能测试结果不达标的，移交工作组应要求社会资本或项目公司进行恢复性修理、更新重置或提取移交维修保函。

社会资本或项目公司应将满足性能测试要求的项目资产、知识产权和技术法律文件，连同资产清单移交项目实施机构或政府指定的其他机构，办妥法律过户和管理权移交手续。社会资本或项目公司应配合做好项目运营平稳过渡相关工作。

项目移交完成后，财政部门（政府和社会资本合作中心）应组织有关部门对项目产出、成本效益、监管成效、可持续性、政府和社会资本合作模式应用等进行绩效评价，并按相关规定公开评价结果。评价结果作为政府开展政府和社会资本合作管理工作决策参考依据。

18.3　现代有轨电车 PPP 项目可行性缺口补助机制

依据财金〔2014〕133 号文，项目回报机制指的是项目公司取得投资回报的资金来源，包括使用者付费、可行性缺口补助和政府付费等支付方式。一般情况下，政府付费适用于非经营性项目，使用者付费适用于经营性项目，可行性缺口补助适用于准经营性项目。

由于现代有轨电车项目建设成本大、公益性强、运营成本较高、票务收入和授权范围内的非票务收入都较低，属于准经营性项目，为保障项目正常运营、项目公司收回成本及获取合理回报，一般采用“使用者付费 + 可行性缺口补助”的回报机制。而使用者付费是指票务收入及授权范围内的非票务收入（广告、商铺租赁、物业管理等所获取的收入）；可行性缺口补助是指票务收入、授权范围内的非票务收入不足以满足项目公司成本回收和合理回报时，由政府给予项目公司一定的财政补贴，以弥补票务收入、授权范围内的非票务收入之外的缺口部分。一般情况下，政府通过可行性缺口补助机制的合理设计来实现政府和社会资本之间风险的合理分配，基于此，本文设计了基于预测票价的票务补贴、基于车公里服务费的车公里补贴、基于财金〔2015〕21 号文运营补贴公式的补贴、可用性付费与可行性缺口补助相结合的补贴 4 种现代有轨电车 PPP 项目可行性缺口补助机制，并设计了客流风险分担下的可行性缺口补助的调整机制，为现代有轨电车 PPP 项目的实施提供借鉴。

1. 现代有轨电车 PPP 项目运作方式

政府指定的代表政府的投资人与社会资本共同出资组建项目公司，政府授予项目公司特许经营权，在特许经营期内由项目公司负责项目的投融资、建设、运营、维护、移交等工

作。项目采用使用者付费 + 可行性缺口补助的回报机制，项目公司通过票务收入、授权范围内的非票务收入、可行性缺口补助收回投资并获取合理回报，政府将用于项目的可行性缺口补助列入本级政府跨年度的财政预算。特许经营期满后，项目公司将项目资产无偿移交给政府或政府指定的其他机构。现代有轨电车 PPP 项目交易机构如图 18-4 所示。

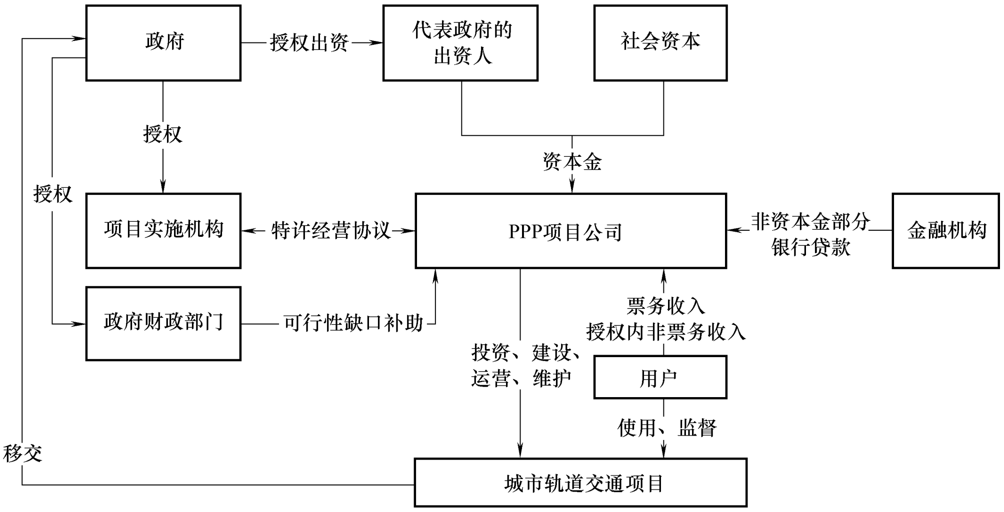


图 18-4　现代有轨电车 PPP 项目交易机构

2. 现代有轨电车 PPP 项目可行性缺口补助机制设计

（1）基于预测票价的票务补贴　借鉴目前国内轨道交通领域比较成功的北京地铁 4 号线 PPP 项目的补贴机制，来设计现代有轨电车 PPP 项目的可行性缺口补助机制，即基于预测票价的票务补贴，机制设计如下：

1）客流量预测机构提供预测客流量数据。

2）建立折现现金流财务模型，基于项目相关成本、特许经营期、预测客流量及政府和社会资本认可的全投资内部收益率（IRR），计算项目公司收回成本及获取合理回报下的平均人次票价，即预测票价。

3）政府确定合理较低的平均人次票价水平，即实际票价。

实际票价 = 当年实际票款收入 ÷ 当年实际客流量

4）可行性缺口补助计算公式如下：

当年可行性缺口补助额 =（当年预测客流量 × 预测票价 + 当年预测的非票务收入）− 当年基准票务收入 − 当年实际非票务收入

基准票务收入是指要求项目公司达到的票务收入。

当年基准票务收入 = 当年预测客流量 × 实际票价

（2）基于车公里服务费的车公里补贴　现代有轨电车向社会提供的服务质量，存在两种量化指标：一是客流量指标；二是车公里数指标。车公里指现代有轨电车列车运营里程的计量单位，具体为 1 辆车运营 1km 即为 1 车公里，车公里数是指一定时期内全部列车车辆运营里程的总和。车公里与行车计划、发车间隔等因素有关，在一定时期内保持相对稳定，可预测性比客流强。

借鉴王宇航、肖靓的研究成果，基于车公里服务费的车公里补贴是按照使用量进行补贴的模式，即政府以每辆车行驶 1km 为基础，根据实际运行里程进行补贴。机制设计如下：

1）客流量预测机构提供预测客流量数据；政府和社会资本约定协议车公里数数据。

2）建立折现现金流财务模型，基于项目相关投资与成本、特许经营期、协议车公里数及政府和社会资本认可的全投资内部收益率（IRR），计算项目公司收回成本及获取合理回报下，向政府提供 1 车公里的运营服务所应收取的价格，即车公里服务费。

3）可行性缺口补助计算公式如下：

当年可行性缺口补助额 = 车公里服务费 × 当年协议车公里数 - 当年基准票务收入 - 当年实际非票务收入

基准票务收入是指要求项目公司达到的票务收入。

当年基准票务收入 = 当年预测客流量 × 实际票价

实际票价 = 当年实际票款收入 ÷ 当年实际客流量

（3）基于财金〔2015〕21 号文运营补贴公式的补贴　依据财金〔2015〕21 号文，对可行性缺口补助模式的项目，在项目运营补贴期间，政府承担部分直接付费责任。政府每年直接付费数额包括：社会资本方承担的年均建设成本（折算成各年度现值）、年度运营成本和合理利润，再减去每年使用者付费的数额。计算公式为

当年运营补贴支出额 = [项目全部建设成本 × (1 + 合理利润率) × (1 + 年度折现率)^n] ÷ 财政运营补贴周期(年) + 年度运营成本 × (1 + 合理利润率) - 当年使用者付费数额

式中，n 代表折现年数；财政运营补贴周期指财政提供运营补贴的年数；年度折现率应考虑财政补贴支出发生年份，并参照同期地方政府债券收益率合理确定；合理利润率应以商业银行中长期贷款利率水平为基准，充分考虑可用性付费、使用量付费、绩效付费的不同情景，结合风险等因素确定。

借鉴财金〔2015〕21 号文，现代有轨电车 PPP 项目的可行性缺口补助计算公式如下：

当年可行性缺口补助额 = [项目全部建设成本 × (1 + 合理利润率) × (1 + 年度折现率)^n] ÷ 财政运营补贴周期(年) + 年度运营成本 × (1 + 合理利润率) − 当年基准票务收入 − 当年实际非票务收入

基准票务收入是指要求项目公司达到的票务收入。

当年基准票务收入 = 当年预测客流量 × 实际票价

实际票价 = 当年实际票款收入 ÷ 当年实际客流量

（4）可用性付费与可行性缺口补助相结合的补贴　依据财金〔2014〕156 号，非经营性 PPP 项目中政府付费的一种方式为可用性付费，可用性付费是指政府依据项目公司所提供的项目设施或服务是否符合合同约定的标准和要求来付费。可用性付费的一个基本原则就是在符合我国法律强制性规定的前提下，直至项目设施已建成且全面服务可用时（通常是项目开始运营时）才开始付款。在按可用性付费的项目中，通常在项目开始时就已经确定项目公司的建设成本，在项目开始运营后，政府即按照原先约定的金额向项目公司付款，但如果存在不可用的情形，再根据不可用的程度扣减实际的付款。

一般来说，可用性付费是指政府针对项目建成后的可用性进行付费，以建设成本为基数，按照政府和社会资本约定的支付比例、支付年限、合理利润率、年度折现率计算每期的付费额，当存在不可用的情形时，再根据不可用的程度扣减当期的付费额。计算原则可以采

用以下方式：

运营期第 1 年的可用性付费 = 项目全部建设成本 ×（1 + 合理利润率）× 运营期第 1 年的支付比例 + 项目全部建设成本 ×（1 + 合理利润率）× 年度折现率

运营期第 t($1 < t \leqslant$ 支付年限)年的可用性付费 = 项目全部建设成本 ×（1 + 合理利润率）× 运营期第 t 年的支付比例 + 项目全部建设成本 ×（1 + 合理利润率）× [1 − 运营期第 1 年 ~（t − 1）年的支付比例合计] × 年度折现率

将现代有轨电车项目的建设和运营分开考虑，整个项目视作将非经营性项目与准经营性项目打包运作，项目的建设采用政府付费方式中的可用性付费，项目的运营采用可行性缺口补助。可行性缺口补助的计算公式如下：

当年可行性缺口补助额 = 当年可用性付费额 + 年度运营成本 ×（1 + 合理利润率）− 当年基准票务收入 − 当年实际非票务收入

基准票务收入是指要求项目公司达到的票务收入。

当年基准票务收入 = 当年预测客流量 × 实际票价

实际票价 = 当年实际票款收入 ÷ 当年实际客流量。

3. 客流风险分担机制对可行性缺口补助额的调整

在特许经营期内，可设定：

1）当实际客流量 < 预测客流量 ×（100 − A）% 时，其基准票务收入 ×（100 − A）% 与实际票务收入的差额由政府承担，即

实际可行性缺口补助额 = 可行性缺口补助计算额 + [基准票务收入 ×（100 − A）% − 实际票务收入]

2）当预测客流量 ×（100 − A）% ≤ 实际客流量 ≤ 预测客流量 ×（100 + B）% 时，由项目公司自负盈亏，可行性缺口补助额不做调整。

3）当实际客流量 > 预测客流量 ×（100 + B）% 时，其实际票务收入超过基准票务收入 ×（100 + B）% 的部分按政府与项目公司约定的比例进行分配，可行性缺口补助额不做调整。

4）如果连续三年出现实际客流量 < 预测客流量 ×（100 − A）% 时，由政府和项目公司双方另行协商可行性缺口补助机制。

4. 对比分析

基于预测票价的票务补贴是典型的现代有轨电车 PPP 项目补贴机制之一，其特点是：①将较大额的补贴分散到每一张票中，每一人次乘坐，政府都应补贴（预测票价 − 实际票价）的差额；②假设实际客流和预测客流都是增长趋势，且两者相差不大，会出现前期补贴少、后期补贴多的趋势，且总补贴金额较大；③该种方式依赖于相对完善的客流预测，否则预期补贴金额准确性较低，财政预算安排稳定性差。

基于车公里服务费的车公里补贴是对现代有轨电车 PPP 项目补贴机制的创新，其特点是：①列车走行车公里数可预测性强；②一定时期内行车组织安排稳定，分年度补贴额相对平缓；③受客流变化的影响小，财政预算安排稳定性相对较好；④量价协调，便于监管。

基于财金〔2015〕21 号文运营补贴公式的补贴借鉴了财政承受能力论证的指导文件，其特点是：①呈现前少后多的趋势；②该种思路测算出的补贴金额相对确定，财政预算安排稳定性强。

可用性付费与可行性缺口补助相结合的补贴参考了非经营性 PPP 项目的回报机制，其

特点是：①可用性部分金额确定；②通过支付比例的设计，呈现前多后少的趋势，实现政府的总体补贴规模下降；③该种思路测算出的补贴金额相对确定，尤其可用性部分，财政预算安排稳定性强。

通过以上分析，建议政府采用可用性付费与可行性缺口补助相结合的补贴机制，从而实现以下目标：补贴呈现前多后少，总补贴规模下降；财政预算安排稳定性好；政府和社会资本的风险都可控，提高社会资本的参与程度。

18.4 现代有轨电车 PPP 项目风险管理

1. 风险分配原则

按照财政部《关于规范政府和社会资本合作合同管理工作的通知》附件 PPP 项目合同指南（试行）社会资本和政府间风险分配基于以下基本原则：

1）承担风险的一方应该对该风险具有控制力。

2）承担风险的一方能够将该风险合理转移（例如通过购买相应保险）。

3）承担风险的一方对于控制该风险有更大的经济利益或动机。

4）由该方承担该风险最有效率。

5）如果风险最终发生，承担风险的一方不应将由此产生的费用和损失转移给合同相对方。

具体风险主要有政府信用风险、法律、标准变化、合同执行、不可抗力、融资、建设、运营安全、退出等风险。关键还是政府信用，特许经营期内影响收入的变化因素，调整机制及现行法律、法规与 PPP 是否矛盾（如招标法、会计法、税收制度等）等，须双方达成处理意向。

2015 年 1 月 1 日起施行的新修订《预算法》要求财政部门实行全口径预算管理并建立跨年度预算平衡机制。轨道交通 PPP 模式虽然没有政府的明显担保，但还款计划应纳入政府预算，风险应该可控。

2. 风险分配

PPP 项目风险见表 18-1。

表 18-1 PPP 项目风险

序号	风险因素	风险后果	影响对象	承担方	合同组织建议
1	政府干预	项目效率降低	私营投资者	政府	在协议中明确政府监管内容和方法，除规定内容外，不得干预 PPP 公司事务
2	政府信用	支付延误甚至终止	私营投资者	政府	协议中要求政府进行相应声明和承诺
3	公众反对	工期延误，可能需要重新谈判修改具体合同条款，严重时导致项目终止	私营投资者	共担	当风险事件出现时，项目公司负责解释，政府方负责协调。如果因项目公司运营不当引起，项目公司应尽快纠正；如因项目规划原因，项目公司可申请赔偿；如因不可抗力原因，双方共同承担损失

（续）

序号	风险因素	风险后果	影响对象	承担方	合同组织建议
4	税收调整	改变项目税收条件	私营投资者/地方政府	政府	私营部门可要求政府部门尽量提供法律许可内的税收优惠。如因税收政策调整，可申请相应补偿
5	决策、审批延误	项目周期过长，增加项目前期成本	私营投资者	共担	尽量列明审批事项和公私各方应尽的职责
6	环保风险	设计变更，投资或运营费增加	私营投资者	共担	协议中要求项目建设、运营中应遵守环保法规规定；因环保问题所产生的损失、费用等，根据归责原则，由过错方承担
7	法律变更	可能引起项目投资或成本增加	私营投资者/地方政府	政府	因法律变更导致对项目的建设或运营要求增加，从而增加项目投资或运营费用，私营投资者可申请补偿
8	利率风险	融资成本增加	私营投资者	共担	可约定一定范围内的变动由私营部门承担，超出一定范围后，申请政府补偿
9	外汇风险	货币兑换成本增加或者禁止兑换	私营投资者	共担	
10	通货膨胀	成本增加	私营投资者	共担	
11	融资风险	融资成本增加，甚至融资失败	私营投资者	私营	明确政府部门需提供的融资协助事项，对私营部门的融资进度做细化要求
12	项目唯一性	市场竞争激烈，导致项目收入减少	私营投资者	政府	约定在特许经营期内，一定区域范围内禁止新建类似项目，明确新建项目的条件
13	市场需求变化	项目收入减少或增加	私营投资者	共担	可设定私营部门承担市场需求变化的范围，超出范围后申请补偿
14	第三方延误/违约	工期延误，也可能引起成本增加	私营投资者	共担	约定双方在第三方延误的申明和追偿责任
15	土地获取风险	前期成本增加、开工延误	私营投资者	政府	可在协议中约定将土地交付作为特许经营期的起始时间
16	完工风险	建设成本增加、工期延误	私营投资者	私营	对项目完工时间点做明确约定，并规定具体违约责任
17	供应风险	工期延误，或影响项目运行	私营投资者	共担	合同约定各方对各类供应的责任
18	技术风险	技术改进成本增加、运营中断	私营投资者	私营	明确项目技术标准和要求
19	运营成本超支	运营成本增加	私营投资者	私营	协议可约定客观因素导致成本上涨，可按一定方法和程序调整销售价格

（续）

序号	风险因素	风险后果	影响对象	承担方	合同组织建议
20	工程变更	建设成本增加，有可能导致工期延误	私营投资者	共担	因政府方导致的变更，项目公司可申请补偿
21	收费变更	对项目收费增加，项目成本增加	私营投资者	共担	
22	费用支付风险	政府或用户不按时全额支付费用	私营投资者	共担	如费用由政府方支付，明确支付延误的违约责任。如由用户方支付，风险主要由私营部门承担，政府方承担责任协调
23	项目移交风险	项目设施维护不周，移交后影响使用	地方政府	私营	协议明确对项目设施的维护要求和移交前的大修标准等事宜
24	私营投资者变动	影响项目稳定性	私营投资者/地方政府	私营	约定私营投资者的变更条件，并且需经政府部门同意
25	招标竞争不充分	中标价格不合理	私营投资者/地方政府	政府	合理设置招标条件
26	项目测算不当	项目收入低于预期，严重影响项目公司生存	私营投资者	共担	政府方对提供的项目条件负责，由私营投资者自行判断的条件由其承担
27	经营者能力不足	运营建设、运营达不到预期效果	私营投资者/地方政府	政府	约定退出机制
28	财务监管不力	项目财务状况恶化	私营投资者/地方政府	共担	约定政府方对项目财务进行监管的内容
29	配套基础设施风险	工期延误，影响项目运营	私营投资者	政府	明确政府方为项目提供的配套条件
30	合同文本不完善	合同改造出现纠纷	私营投资者/地方政府	共担	明确争议协商机制

18.5 现代有轨电车 PPP 模式案例分析

采用 PPP 模式实施的现代有轨电车项目包括兰州新区现代有轨电车 1 号线及 2 号线一期工程 PPP 项目、三亚现代有轨电车示范线 PPP 项目、佛山市高明区现代有轨电车示范线首期工程 PPP 项目、红河州滇南中心城市群现代有轨电车示范线 PPP 项目、深圳市龙华新区现代有轨电车示范线工程 BOT 项目及同步实施工程、苏州高新区现代有轨电车 1 号线延伸线 PPP 项目、淮安现代有轨电车一期工程 PPP 项目等，见表 18-2。

表 18-2　现代有轨电车 PPP 模式案例

项目名称	兰州新区现代有轨电车 1 号线及 2 号线一期工程 PPP 项目	三亚现代有轨电车示范线 PPP 项目	佛山市高明区现代有轨电车示范线首期工程 PPP 项目	红河州滇南中心城市群现代有轨电车示范线 PPP 项目	深圳市龙华新区现代有轨电车示范线工程 BOT 项目及同步实施工程	苏州高新区现代有轨电车 1 号线延伸线 PPP 项目	淮安现代有轨电车一期工程 PPP 项目
项目概况	兰州新区现代有轨电车 1 号线一期工程起于中心广场站，线路全长为 15. 107km，共设车站 23 座，车辆段一座。平均站间距为 0. 656 km。兰州新区现代有轨电车 2 号线一期工程修建纬一路站至经十路段，线路全长为 7. 2 km，共设车站 8 座，不含车辆段、停车场。平均站间距为 1. 34 km	三亚现代有轨电车示范线工程线路全长约为 8. 37km，共设车站 15 座，示范线南起于胜利路与建港路交叉口，北止于三亚火车站，途经三亚河东路高档住宅区、金鸡岭路居住区、三亚湾路滨海旅游服务带及解放路商业区，连接了三亚火车站和三亚汽车站。作为三亚首条轨道交通线路，其串联了三亚核心旅游资源及重要对外枢纽，是该通道的公交骨干线，不仅能有效解决沿线部分居民的出行问题，也成为三亚湾游客出行观光的一条靓丽风景线	佛山市高明区现代有轨电车示范线首期工程范围为沧江路站—智湖站，线路长约为 6. 5km，设车站 10 座，平均站间距约为 640m，设停车场 1 座，加氢站 1 座，调度控制中心 1 处（位于停车场综合内）	建设规模：建设总长为 60. 8km 的 4 条现代轨道交通线路，4 条线路共设控制中心一处，车辆基地一处，在大屯北、蒙自北站和新安所各设停车场一处，全部线路均为地面线。M1 线共设车站 18 座，平均站间距为 1. 552km。M2 线共设车站约 16 座，平均站间距为 1. 456km。M3 线共设车站 6 座，平均站间距为 0. 958km。M4 线共设车站约 8 座，平均站间距为 0. 851km，M4 线支线（天源—市政府）共设车站 2 座，平均站间距为 1. 27km	深圳市龙华新区现代有轨电车示范线轨道交通建设约 11. 724km 及配套车辆场停车库等约 $41984m^2$，采用 BOT 模式“投资建设-运营-移交”，特许经营权 20 年；同步实施工程（道路新建和改造施工、车辆场上盖平台结构工程施工、横坑南路改造工程、地铁 4 号线接驳预留工程）施工总承包	T1 延伸线工程全长约为 10. 294km，共设站 13 座，其中太湖大道西站、绣品街站、纵三路站为地下站，其余均为地面站，最大站间距为 1. 452km，最小站间距为 0. 5km。T1 延伸线工程分主支线，主线为太湖广场—龙康路站（不含），支线为湿地公园站—横四路站。 T1 延伸线主线长 9. 022km，其中地面段长 7. 140km，地下段长 1. 882km，共设车站 10 座。支线长 1. 272km，共设站 3 座	淮安现代有轨电车一期工程线路总长度约为 20. 07km，总投资为 35 亿元。采用“BOT + 股权转让”模式建设。工程于 2014 年 2 月 19 日开工建设，2015 年 6 月通车试运营

（续）

项目名称	兰州新区现代有轨电车1号线及2号线一期工程PPP项目	三亚现代有轨电车示范线PPP项目	佛山市高明区现代有轨电车示范线首期工程PPP项目	红河州滇南中心城市群现代有轨电车示范线PPP项目	深圳市龙华新区现代有轨电车示范线工程BOT项目及同步实施工程	苏州高新区现代有轨电车1号线延伸线PPP项目	淮安现代有轨电车一期工程PPP项目
合作模式	本项目采用PPP模式，社会资本方与兰州新区铁路建设投资有限责任公司（以下简称“兰铁投公司”）成立项目公司后负责对本项目进行投资、建设、运营和移交；特许经营期满，项目公司将本项目设施全部无偿移交给兰州新区管理委员会或其指定机构，且保证项目设施处于良好的运营状况	本项目采用PPP模式，三亚市交通运输局作为本项目的实施机构，通过公开招标的方式选定本项目投资人。选定的投资人增资入股三亚市轨道交通有限公司（项目公司），三亚市人民政府或三亚市人民政府授权机构与项目公司签订特许经营协议，授予项目公司特许经营权。项目公司负责融资、建设及运营三亚现代有轨电车示范线项目；特许经营期限届满时，项目公司需将本项目全部设施无偿完好移交给三亚市人民政府指定机构	本项目招标范围为佛山市高明区现代有轨电车示范线首期工程采用政府与社会资本合作（PPP）投融资方式，并采用BOT特许经营操作模式，由中标社会资本与政府方投资代表（佛山市铁路投资集团有限公司）共同组建项目公司，政府授予项目公司特许经营权，由项目公司负责本项目的前期工作（工可、初步设计等已由政府方先行实施）及对该项目进行投融资、建设（含施工图设计）、运营维护，并在特许经营期期满且政府按约定支付可行性缺口补助后将该项目设施完好、无偿移交给政府（佛山市高明区人民政府或其授权单位）	红河州人民政府吸收两名社会资本共同组建红河州滇南中心城市群现代有轨电车示范线PPP项目公司，对本项目进行投资、建设、经营和管理，红河州人民政府依法授予项目公司特许经营权。第一名社会资本所占股份为51%，第二名社会资本所占股份为14%～18%，其余股份由红河州轨道投资有限公司持有	深圳市龙华新区现代有轨电车示范线轨道交通建设约11.724km及配套车辆场停车库等约41984m^2，采用BOT模式“投资建设-运营-移交”，特许经营权20年；同步实施工程（道路新建和改造施工、车辆场上盖平台结构工程施工、横坑南路改造工程、地铁4号线接驳预留工程）施工总承包	本项目采用BOO模式运作，协议期25年，其中：建设期2年，工程竣工验收后进入运营期，运营期为23年。确定社会资本方后，项目实施机构与社会资本方签署PPP合作协议。社会资本方作为本项目的出资主体，负责全部本项目的建设、运营、移交，并履行合同中的约束条款。政府在项目建设、运营及移交等过程中行使监管权	“BOT＋股权转让”通过自己运营，在全部的工程完成后我们得以分5年就可退出股权，但资产还存留在项目公司内部，包括债权债务等

线路长度/km	15. 107	约 8. 37	约 6. 5	总长为 60. 8	11. 724	10. 294	20. 07
投资总额/亿元	26. 46	14. 6947	7. 614	60	22. 6	约 18. 5	35
合作期限	30 年（含 1.5 年建设期）	特许经营期为 25 年，其中建设期暂定 2 年，运营期 23 年。	30 年	建设周期：24 个月 特许经营权年限：30 年	特许经营权 20 年	协议期 25 年，其中：建设期 2 年，工程竣工验收后进入运营期，运营期为 23 年	股权回购期 5 年
采购方式	竞争性磋商	公开招标	公开招标	公开招标	公开招标	公开招标	公开招标
授权主体	兰州新区管理委员会	三亚市人民政府	佛山市高明区人民政府	红河哈尼族彝族自治州人民政府	深圳市龙华新区人民政府	苏州国家高新技术产业开发区管理委员会	淮安市人民政府
实施机构	兰州新区管理委员会	三亚市交通运输局	佛山市高明区交通运输和城市管理局	红河哈尼族彝族自治州住房和城乡建设局	深圳市龙华新区建设管理服务中心	苏州国家高新技术产业开发区住房和建设局	淮安市交通局

（续）

项目名称	兰州新区现代有轨电车 1 号线及 2 号线一期工程 PPP 项目	三亚现代有轨电车示范线 PPP 项目	佛山市高明区现代有轨电车示范线首期工程 PPP 项目	红河州滇南中心城市群现代有轨电车示范线 PPP 项目	深圳市龙华新区现代有轨电车示范线工程 BOT 项目及同步实施工程	苏州高新区现代有轨电车 1 号线延伸线 PPP 项目	淮安现代有轨电车一期工程 PPP 项目
政府方出资代表	兰州新区铁路建设投资有限责任公司	选定的投资人增资入股三亚市轨道交通有限公司（项目公司），该项目公司由三亚市公共交通集团有限公司组建	佛山市铁路投资集团有限公司	红河州轨道投资有限公司	无	无	无
政府和社会资本的股权比例	30%∶70%	政府方出资代表、国开基金、中标社会资本股权比例为 27.22%∶27.22%∶45.56%	20%∶80%	第一名社会资本所占股份为 51%，第二名社会资本所占股份为 14%～18%，其余股份由红河州轨道投资有限公司持有	社会资本独资	社会资本独资	社会资本独资
回报方式	使用者付费和可行性缺口补贴	使用者付费和可行性缺口补助	使用者付费和可行性缺口补助	使用者付费和可行性缺口补助	使用者付费和可行性缺口补助	使用者付费和可行性缺口补助	使用者付费和可行性缺口补助
中标社会资本	中国电建集团铁路建设有限公司、中国水利水电第四工程局有限公司、中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司联合体	中国交通建设股份有限公司和广州现代有轨电车有限责任公司（联合体）	佛山市高明建设投资有限公司和中车青岛四方机车车辆股份有限公司（联合体）	云南建工集团有限公司为第一名社会资本。第二名社会资本选择为国开基金	中国中铁股份有限公司/深圳市地铁集团有限公司	苏州高新现代有轨电车有限公司	上海城建（集团）公司下属的上海基础设施建设发展有限公司、上海城建市政工程（集团）有限公司、上海市城市建设设计研究院三家单位组建的联合体

第19章

轨道+物业综合开发模式的研究与实践

19.1　轨道 + 物业综合开发模式的概念

轨道 + 物业综合开发模式指政府将拟建轨道交通项目的建设权、运营权与轨道交通周边的土地使用权同时授予轨道交通公司，由轨道交通公司将轨道交通与物业同步规划，同步建设。通过轨道交通建设使物业实现快速增值；通过物业发展为轨道交通带来新的客流，实现 1 + 1 > 2 的协同效应。以出售或出租优质物业所创造的资本收益弥补轨道交通建设和运营成本，并取得合理的投资、运营回报。

19.2　轨道 + 物业综合开发模式的经济内涵

轨道 + 土地综合开发模式是城轨经营 + 效益返还的盈利模式，其主要内涵是从投入产出角度，研究城轨建设与运营的投入，有以下四大类产出：

1）城轨线路，该部分产出体现为城轨运营票务类收入。

2）附属资源，是附着在城轨线路上的经济资源，与城轨线路存在于同一空间和同一时间，主要有车站广告位、商铺等有形资源，还有语音报站、通信等特许经营权和车站冠名、出站标识冠名等无形资源。

3）沿线未出让土地的增值。

4）沿线已出让土地和物业的增值。

城轨经营的对象是指 1）、2）两类，效益返还的来源是指 3）、4）两类。城轨沿线未出让土地、已出让土地和物业的增值，是城轨建设与运营带来的，是城轨建设与运营产出的主要组成部分，并且数倍于前两类产出，但被外部化了，这是城轨行业普遍存在亏损的基本原因。因此，构建城轨企业的盈利模式，除经营好城轨线路和附属资源外，必须制定相应的政策和法规，将被外部化的效益 3）、4）两部分返还城轨公司。

城轨经营 + 效益返还模式中被外部化的两类产出效益，理论上可以通过政府制定相关政策予以返还。由于第 4）类即沿线已出让土地和物业增值的外部化效益直接涉及私人利益，通过政策返还的操作难度较大。在实际操作中，主要是通过城轨公司向已开发物业的业主收取城轨通道接驳费，或城轨公司与已开发物业的业主合作，提升已开发物业的商业价值等途径，实现城轨建设和运营对这部分物业增值贡献的收益。因此，本文将这类收益归于附属资

源开发部分。效益返还部分主要是指第3）类，即未出让土地增值的返还，这必须通过沿线物业发展来实现。城轨物业发展包括城轨物业开发和城轨商业物业经营。相应地，盈利的主要来源包括两方面：一是房地产开发收益（含土地增值效益及其再投资产生的物业开发利润），二是物业再经营产生的物业租金和物业升值。因此，从现实操作角度，城轨经营＋效益返还的理论模式在实践中的具体应用可归纳为城轨经营＋物业发展盈利模式。

城轨经营主要是指：城轨规划设计、建设施工、运营管理、客流引导和培育、成本控制、资金筹措和融资策划、附属资源的开发和经营，努力做到城轨线路和附属资源开发效益最大化。

物业发展主要是指：通过城轨与物业的统一规划和优化设计，产出较优的车站物业开发资源；通过房地产开发，实现土地增值收益和物业开发投资收益；通过对开发出的城轨商业物业再经营，产生物业升值收益和物业出租租金收益；通过沿线商业物业经营的整体规划，产生资源配置效益和规模效益。

城轨经营是基础，无论有没有物业发展业务，城轨经营都是必需的，也是相对稳定的内容。关于城轨经营的内涵和操作思路，业内同行和社会各界已基本取得共识。而城轨物业发展业务，各方面还存在较多不同的认识，在国内尤其还存在一定的政策障碍。

19.3 轨道＋物业综合开发模式的操作流程

1. 城轨公司负责总体规划

规划设计是城轨建设和运营的龙头，更是物业开发的龙头。首先是因为城轨及城轨物业都是百年大计工程，不允许推倒重来，不仅要严把质量关，还必须从源头上严把规划设计关。而且，规划设计环节相对于其他环节，最能充分反映业主的意愿，进入工程建设阶段后，再追加业主意愿，可能因技术问题而不具可行性。特别是相对于运营来说，物业开发的商业性更强，事先的商业策划和市场定位等是否成功反映在规划设计中，直接决定物业开发的成败。因此，城轨公司应高度重视在城轨物业规划设计方面（包括人力、财力和时间）的投入，项目设计最好是请国际顶尖的设计大师担纲。

城轨公司负责规划蓝图和确保得到政府的批准。因物业发展计划一般都很庞大而复杂，城轨公司主动与政府部门及其他顾问机构合作研究，形成适宜的和谐创新的概念设计方案，并力争使方案对周边区域乃至整个城市的规划起到优化和提升作用。

2. 城轨公司负责城轨沿线土地的一级开发

为减少城市建设中的重复开挖、多次围挡，降低城市建设引起的负外部效应，也为后续城轨公司与房地产商合作开发沿线土地打下基础，城轨公司在进行城轨建设的同时，对沿线土地进行一级开发。

3. 城轨公司向政府申请获得土地

（1）确保以合理地价获得土地　以合理地价获得土地使用权是实施城轨经营＋物业发展模式的前提。合理地价应是招拍挂形成的市场地价减去城轨公司投入的土地一级开发成本和城轨开通预期带来的土地增值。

按照现行的土地政策法规，城轨公司获得沿线土地使用权的方式是招拍挂。在以招拍挂方式竞得土地的制度安排下，城轨公司应争取缴纳合理地价的政策支持。如果地价不作相应

处理，使其变为合理地价，则城轨公司只是简单地新增了一块房地产业务，以承担房地产的行业风险获得一个行业性投资回报，并没有达到城轨经营 + 物业发展模式中的效益返还的效果。

（2）确保以合理地价获得土地的可行性　只要承认城轨建设和开通运营对沿线土地增值的贡献，同时考虑城轨建设与沿线物业开发在工程方面的密切联系或不可分性，考虑城轨运营和城轨物业管理在质量安全方面的统一性，土地竞买者必须满足一定的经济指标和技术指标要求，那么，城轨公司通过招拍挂方式获得沿线土地使用权的竞争优势是比较明显的。

在实际操作中，最可行的途径是争取城轨沿线土地使用权。因为，城轨沿线土地开发和城轨建设及运营的关系是完全密不可分的，对潜在土地竞买者设置一些有关城轨建设和运营的技术指标是完全可行的，城轨公司凭此竞得城轨沿线土地使用权的优势无可比拟。另外，因城轨沿线土地其实是属于土地的二次开发利用。城轨建设是对土地的一次开发，征地拆迁、土地平整、三通一平、软基处理、桩基工程等，所有这些投资及其投资收益，都可计入城轨沿线土地价值中。这部分城轨公司的投入及其产出的价值，政府可从招拍挂地价中提取一定比例补偿给城轨公司，则城轨公司竞买土地的优势更强。因此，在现有的土地法规框架内，城轨公司获取城轨沿线土地是完全可行的。

4. 城轨公司招标确定合作开发商

（1）招标环节的主要工作内容　城轨公司以既定的总体规划和分期发展策略，明确界定主要衔接工程和重点设计控制，并以此作为招标合作开发商的前提。在招标文件中规定，由合作开发商承担地价、开发成本费用和负责项目建设、营销，以及利润分配方式。合作开发商在投标文件中明确具体开发方案（包括功能定位、外观等），承诺分给城轨公司的利润分成比例，最终以合作开发合同确定。

在此环节中，关键是要制订科学合理的招标程序和严格执行招标程序。因标的金额较大、工程方案庞大、商务指标复杂，如果将这些内容全部寄予一次性的评标环节，时效性、有效性和风险控制都将难以保证。因此，应设定时限较长的招标前置程序，将需要论证的方案、需要调查的信息等放在招标前置程序，而评标环节主要是考量比较确切的、直观的经济指标。

（2）通过招标确定合作开发商的可行性　此环节的可行性也是城轨经营 + 物业发展模式的前提，其可行性主要在于两方面：一是房地产商投标的积极性，二是非法人型合作方式的可行性。

1）房地产商的投标积极性。在房地产行业中，土地是硬道理；城轨沿线物业往往是区域中心物业，且因城轨，区域中心的寿命很长。房地产商只有与城轨公司合作，才能在获取自身投资正常收益的同时，与城轨公司分享城轨物业超额利润，包括城轨概念土地的稀缺性、规划前景、投资风险等所含的经济效益。因此，城轨沿线物业项目对房地产商具有很大的吸引力。

2）非法人型合作方式的可行性。

① 可选择的具体合作形式。合作开发方式的具体合作形式有三种：一是成立项目公司的法人型合作形式；二是不成立项目公司，以合同规范的非法人型合作形式；三是其他形式，如民间集资建房形式、民间非规范融资手段下的参建形式等。

上述第三种形式显然不适合城轨物业开发，不是考虑对象。第一种成立项目公司的法人

型合作形式，是目前较为流行的形式。但是，针对城轨上盖物业的特点，这种形式存在天然的缺陷。

因项目公司的有限责任，原本想通过招标方式选取卓越的、有实力的合作商来规避风险的初衷失去保障。比如，不是因为物业发展方案本身的原因，而是市场原因，预期项目将出现较大亏损，合作商经过核算后很可能借项目公司的有限责任，放弃项目止亏。而城轨物业是不允许烂尾的，相对于百年大计，市场原因也是可以挺过去的，也就是说，城轨公司是不能借助项目公司的有限责任抽身的，结果是相关风险实质上全由城轨公司承担，这不符合风险控制原则。虽然也可以通过合同约定合作商对项目公司的无限责任担保，但是，一旦项目出现问题，受产权变更手续的约束，城轨公司应变方案的及时性将受到很大限制。

因此，为了规避设立项目公司的法人型合作形式的风险，原则上应选取不设立项目公司的非法人型合作形式，城轨公司与合作商订立合作开发合同，而并不组建新的法人实体，沿线土地使用权全部由城轨公司享有，合作商仅是依据合作开发合同承担投资义务和享有收益权。虽然在非法人型合作形式下，对合作合同起草水平的要求很高，对税务策划水平和法律事务水平的要求也很高，各种报批手续也相对繁琐，但毕竟是可以解决的。

至于项目公司独立核算的优势，招标合作开发方式下的非法人型合作形式也能实现。如双方都各自设立项目部，建立共管账户，制订相应的操作制度作为合同附件等，实际上完全是项目公司的运作程序，只是没有项目公司这个法人壳体。通过招标程序，项目的产品质量和产品成本基本已事先确定，非法人型合作形式下的财务核算和审计并不比项目公司形式下的复杂。

② 可行性分析。非法人型合作方式，从风险关系上讲，城轨公司是天生的百年老店，因此房地产商完全可以接受这种与城轨公司合作的方式。

从法律关系上讲，现行法规完全认可非法人型合作方式的合法性：《中华人民共和国城市房地产管理法》规定，依法取得的土地使用权，可以依照本法和有关法律、行政法规的规定，作价入股，合资、合作开发经营房地产；在最高人民法院的司法解释中，只是对合作合同中保底利润条款的有效性不予承认，同时也不因保底条款而否定合作合同的有效性，即对合作合同的有效性是保护的。

在实际操作中，国土规划部门对一方出地另一方出资合作开发中联名办理工程建设许可证和预售许可证都是受理的；税务部门对法人型和非法人型合作开发方式的纳税都有针对性的规定，如国家税务总局（1995）156 号文对非法人型合作开发方式的纳税进行规定，出地方按转让或出租土地使用权缴纳营业税，出现金方按转让不动产缴纳营业税。因此，非法人型合作方式是可操作的。

5. 合作开发

合作双方严格按照合同进行合作物业项目开发，主要依靠合作开发商组织建设、营销。合作开发商不同于承建商，是真正投入现金的投资商，因此，从机制上讲，合作开发商作为投资人，会积极、主动、认真地负责项目建设和营销工作。

在此环节中，城轨公司的重要工作是处理物业开发与城轨工程之间的衔接关系。在工程建设上，物业是服从于城轨的，只有城轨公司能有效地统一城轨和物业两部分工程建设；而且，城轨工程和工期一般要求一线贯通，物业开发则多是分期开发，只有城轨公司能同时面对多个和多阶段的物业开发工程，实现工程的有效衔接。

6. 利润分配

（1）利润的分配方式

1）以商业物业实物利润分配方式为主。城轨公司应自留商业物业用于经营，以实现城轨运营和商业物业经营的规模效益和资源配置效益。

2）根据具体项目的实际情况，灵活采用物业分配方式，或先采取现金分红方式，然后再选择性地回购商业物业。

3）现金利润和物业利润的比例关系，根据城轨公司年度现金流的需求情况，具体规划配置。

（2）利润的用途

1）总体上用于支持城轨建设和运营，基本策略是：在弥补运营亏损的前提下，构建盈利模式，通过进行资本运作，融入十几倍于利润额的资金，支持城轨新线的可持续建设。

2）部分利润以商业物业的形式实现。利用持续增长的运营客流带来的巨大商业价值，实现持续增长的商业物业经营利润，支持城轨可持续经营和可持续发展。

7. 物业经营与物业管理

城轨物业开发面积总是有限的，但物业经营可持续受益于城轨客流带来的商机。城轨公司应通过经营城轨商业物业，充分利用城轨客流带来的商机，以支持城轨的可持续发展。

城轨公司对全网全线城轨商业物业进行统一规划和统一经营，但直接面对消费者的终端经营环节则在统一经营方案下由承租商负责。

基于城轨运营在质量安全方面的严格要求，由城轨公司统一管理城轨物业，包括自留的商业物业和已销售的住宅物业。

19.4　香港地铁轨道 + 物业模式

世界各地轨道交通建设普遍面临建设资金短缺和运营亏损两大难题。而香港实行以地养铁，当中轨道项目 PPP 模式结合物业发展的经验让香港地铁（简称港铁）成为世界上少有的能获得盈利的轨道交通机构，通过车站与车辆段上盖物业及地下空间发展的收益，成功地解决了轨道交通发展的资金问题，并充分将正外部性内部化，提高了城市公共基础建设的效益。

纵观港铁轨道 + 物业发展模式的演变历程，主要分为三个阶段：

（1）初期发展（20 世纪 80 年代）　利用所拥有空间发展补贴开支。

香港地铁于 1979 年通车，初期主要覆盖市区的线路仍需要政府通过贷款注资建设，物业发展仍难以作为支持建设还本付息和运营收入补贴主要来源。但由于香港土地资源匮乏，港铁充分利用轨道建设范围所占有的土地，进行车辆段（例如九龙湾德福花园、荃湾绿杨新村）和站点上盖发展（例如湾仔修顿花园、中环环球大厦），其物业销售与租金收益作为轨道交通建设运营资金补贴的同时，亦通过上盖发展强化沿线的客流量，保障运营收益。

另一方面，虽然港铁直至 2001 年都是 100% 由政府拥有的企业，但由于奉行商业原则经营，政府谨慎地按照港铁的财务状况分析对初期线网规划进行修订，在落实建设时取消了部分预期效益较低的原有规划路段（例如港岛线西段、东九龙线），从而强化轨道交通在初期建设效益。

（2）快速发展期（20 世纪 90 年代） 利用新线与新发展区的融合创造价值

随着香港机场核心计划带动城市的跨越式扩展，需要大量的建设资金，政府将填海土地协议出让于港铁，并让港铁参与新发展区（如东涌、西九龙填海区）的前期规划，积极采取新线站点与土地融合发展模式，包括土地与车站融合发展，以及车站与周边社区的人行无缝连接网络设计，强化地铁人流带动所创造的土地价值，再通过土地增值的收益，支持机场快线和东涌线的建设。这种模式同样用于将军澳和马鞍山新市镇的沿线轨道发展。

（3）成熟期（21 世纪） 长远持续的分期发展让土地价值最大化。

经过轨道线网的快速发展期，客流量的使用需求、沿线城市及市场发展逐渐成熟，港铁逐步开始对之前轨道线网所预留土地进行长达 10～20 年的分期开发。务求通过人流和商机的培育，让土地价值最大化，以创造更高盈利目标。例如，在 1998 年通车的机场铁路九龙站上盖综合发展，先在初期开发了住宅，孵化市场潜力和人气，待发展较为成熟、商业地产需求较高时，才于 2005 年开始建设酒店、圆方购物商场等商业设施，而 2012 年楼高 110 层的环球贸易中心 ICC 也是九龙站最后一期发展项目。包括甲级写字楼、六星级酒店、天际观景台等高端功能，其甲级办公租金尺价为九龙之最。

经过十余年的发展，港铁轨道运营和物业发展利润比重已由 70∶30 倒挂为 36∶64，物业发展成为港铁主要的利润收入来源。

从 20 世纪 90 年代起，港铁保持稳定增长的盈利，同时带动了城市发展与轨道运营使用的效益，这归功于其物业＋轨道发展模式让港铁承担了介乎政府与市场之间的角色，包含了以下若干特点：

1）港铁承担了政府在城市发展建设的部分职能，通过城市发展与轨道建设两个不同的主体整合考虑，总体提高了社会与土地经济效益，这体现在：

① 港铁有机会前期参与规划阶段，并通过规划轨道与物业地块融合设计，最大化地利用车站的人流培育商业价值，创造日后更有利的土地增值条件。同时由于与车站对接的居民和就业人口有一定的保证，这也为将来的载客量及票务收入持续上升提供了稳定的支持。

② 在新发展区，轨道＋物业意味着地铁不仅承担轨道建设的角色，同时也承担新城建设的角色（例如东涌新市镇一、二期，除了公共房屋外，其余所有用地均为港铁旗下的物业发展）。

③ 轨道的建设与城市发展同步进行，但并不代表一次性建成，而是从工程技术上预留日后发展持续的空间（包括九龙站、南昌站、东涌新市镇），但不影响轨道的运作，化解了城市建设与轨道建设各自为政所引起的冲突。

④ 地铁的物业范围不会受到站点范围的局限。港铁物业同时会出现在轨道路线穿过地块的空间，在地基土建进行时已考虑如何融合物业发展，这些物业必须是轨道建设时已对轨道上的物业发展设计充分考虑。

2）港铁作为一个有效的平台，引入市场的力量改善轨道交通项目风险管理和资产管理，并通过市场资金满足轨道和其他社会公共利益的需求。

一般而言，港铁并不直接作为开发主体发展有关物业，而是把手上的站点、轨道和相关设施与土地融合（包含规划融合、工程融合、法规许可），在这一融合领域上达到资产效益最大化，成为一个具有极大吸引力和盈利能力的资产后，再通过招标方式让社会上有实力的发展商竞投物业发展权，港铁从中分成。此举可以把庞大的物业发展风险与地产开发商共同

分担。

例如将军澳车辆段上盖发展的日出康城，政府赋予港铁把车辆段的用地连同周边白地进行综合开发，港铁在整个规划中强调把车辆段隐藏于大型的阶梯式平台园林设计，排除了车辆段在噪声、振动以及视觉景观和心理因素对物业环境与潜在价值的负面影响，提升物业发展的吸引力。

整个 $32\times10^4\mathrm{m}^2$ 发展用地分为 14 期，预计 2020 年全部完成。就以四期招标为例，由新鸿基地产附属公司（简称新地）投得，预计总投资额约为 90 亿元。根据协议，中标的新地须首先支付入场费 2.9 亿元，以及全数 27.1 亿元向政府支付补地价费用，而物业出售所得的售楼收益，则由发展商自行在投标文件中提出给予港铁的分红比例。

另外，政府会把公共空间和设施纳入港铁招标方案的设计要求中，让发展商承担，并详细说明有关公共设施和空间日后的建设与运营管理责任。以东涌市中心的东荟城为例，就是政府从用地规划上综合一个跨越高速公路的购物中心作为地铁物业发展的部分，并附带有关公共开放性、管理维护（例如 24h 开放）等要求，为东涌地铁站和东涌北地区提供一个便捷、舒适和具有活力的连接空间。

3）港铁亦十分重视物业的分期发展计划，目前港铁所持有的土地，以及有关物业功能配比方面，均已对未来 10 ~ 20 年的发展进行计划，确保轨道建设的全生命周期（包括运营、资产更新等）能获得稳健的财务支持，形成轨道与城市发展之间的正向循环。

港铁角色如图 19-1 所示。

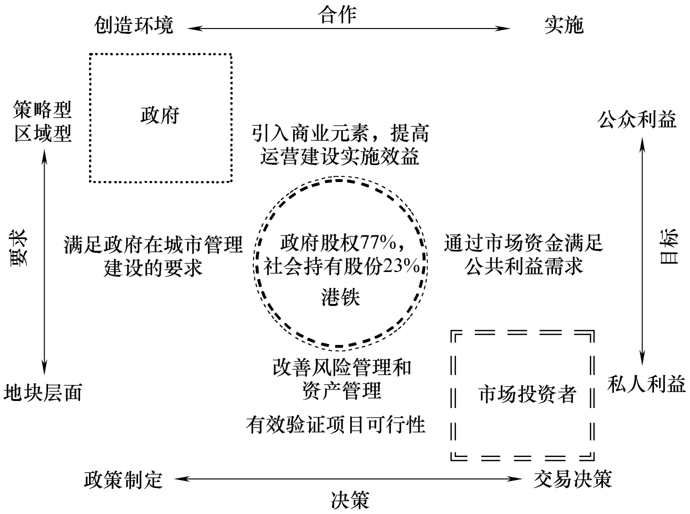


图 19-1　港铁角色

第 20 章 现代有轨电车资产证券化模式

20.1 资产证券化的概念

资产证券化（asset-backed seeuritization，ABS）通俗而言是指将缺乏流动性、但具有可预期收入的资产，通过在资本市场上发行证券的方式予以出售，以获取融资，以最大化地提高资产的流动性。资产证券化是一种直接融资方式，是创立以收益性资产为担保的可转让性证券的融资过程。传统的证券发行以企业为基础，而资产证券化则是以特定的资产池为基础发行证券。

国有资产证券化，就是指将不够具有流动性的国有资产（资产、收益权、债权等），通过企业改制、结构性重组、风险隔离等手段，转换为在金融证券市场上可以自由买卖的证券的行为。证券化可使被证券化的资产具有流动性。根据证券化的基础资产不同，可以将资产证券化分为不动产证券化、应收账款证券化、信贷资产证券化、未来收益证券化（如高速公路收费、轨道交通收费等）、债券组合证券化等类别。投资者在决定是否投资时，主要依据的是这些资产的质量、未来现金流的可靠性和稳定性，以及交易结构的严谨性和有效性。原始权益人本身的资信能力则被放在相对次要的位置。

20.2 ABS 模式在现代有轨电车项目融资中应用的可行性

1. ABS 融资的法律环境和中介机构

有关 ABS 的法律、法规不断出台，为 ABS 融资奠定了良好的法律基础。2005 年 4 月由中国人民银行、中国银行业监督管理委员会（以下简称银监会）联合发布的《信贷资产证券化试点管理办法》，以及 2005 年 12 月由银监会颁布的《金融机构信贷资产证券化试点监督管理办法》，创造性地制定了直接规范信贷 ABS 试点工作的管理办法。与此同时，《中华人民共和国信托法》《信托公司集合资金信托计划管理办法》《中华人民共和国银行业监督管理法》等法律、法规中也包含了 ABS 相关的规定，构建了 ABS 融资模式的法律框架。此外，从我国进行信贷 ABS 首批试点以来，商业银行、信托机构、会计师事务所、信用评级机构、证券承销商和证券托管机构等涉及 ABS 的各类中介机构迅速发展，他们已初步具备了 ABS 融资的基本素质。

2. 现代有轨电车项目符合 ABS 的基本要求

ABS 是将具有未来现金收入但缺乏流动性的资产重组和信用增级，并以该现金收入为保证在资本市场上发行证券筹集资金，因此 ABS 融资模式要求基础资产能够产生稳定可预测的现金收益。现代有轨电车项目一方面因其运能较大、舒适度高、能耗小、污染少等特点在我国具有广阔的前景，建成后必定会形成长期稳定的客流，从而保证了充足的票务收入，加之项目沿线的土地与物业开发带来的商业收入，为其 ABS 的实现提供了基础；另一方面，现代有轨电车具有消费的准公共物品性，是关系到国计民生的重要基础设施，政府往往会给予相关的政策支持和信用担保，以提升项目的信用等级，降低投资风险，为其预期收入来源提供进一步的保障。由此可见，现代有轨电车项目未来相对稳定的票价收入，符合 ABS 融资的基本要求，是非常理想的证券化资产。

3. 现代有轨电车项目 ABS 的成功经验

在基础设施领域，我国已有一些实施 ABS 的成功案例。例如，1996 年珠海市高速公路项目完全按照国外 ABS 的标准进行运作，是 ABS 融资模式的重要探索，为我国发展离岸模式的 ABS 融资积累了宝贵的经验；2002 年重庆市高架轻轨交通新线项目采用中国国际金融公司设计的 ABS 融资模式，筹集 50 亿元资金，是 ABS 融资的重大突破；2005 年 12 月，东莞控股公司以莞深高速公路收费权为基础，通过广发证券推出专项资产管理的证券化产品。这一系列的尝试为现代有轨电车项目的 ABS 奠定了实践基础。

20.3　ABS 融资模式在现代有轨电车项目融资中的运作机制

1. 主要参与者

一般情况下，ABS 融资模式运作包含以下参与者：原始权益人、特设的信托机构（special-purpose vehicle，SPV）、投资者、资信评级机构、信用增级机构、证券承销商、受托管理机构以及服务机构等。

1）原始权益人是证券化基础资产的原始所有者，通常是金融机构或大型工商企业。

2）SPV 是指接受原始权益人转让的资产，或受原始权益人委托持有资产，并以该资产为基础发行证券化产品的机构。选择特定目的机构或受托人时，通常要求满足所谓破产隔离条件，即原始权益人破产对其不产生影响。

3）受托管理机构。为保证资金和基础资产的安全，特定目的机构通常聘请信誉良好的金融机构作为受托管理机构进行资金和资产的托管。

4）信用增级机构，也称担保机构。此类机构负责提升证券化产品的信用等级，为此要向特定目的机构收取相应费用，并在证券违约时承担赔偿责任。

5）资信评级机构。如果发行的证券化产品属于债券，发行前必须经过评级机构进行信用评级。

6）证券承销商，是指负责证券设计和发行承销的投资银行。如果证券化交易涉及金额较大，可能会组成承销团。

7）投资者，即证券化产品发行后的持有人。

2. 运作机制

现代有轨电车项目的发起人将要证券化的基础资产汇集、整合成资产池，出售给 SPV。

SPV 通过一定的技术手段将资产池的预期收益转化成资产支撑债券，由信用增级机构提高债券的信用等级，由资信评级机构最终评估债券的级别，最后委托证券承销商向现代有轨电车项目的投资者出售债券以筹集资金。服务机构通过管理项目资产，用资产未来的净现金流清偿债券的本息，具体运作机制如图 20-1 所示。

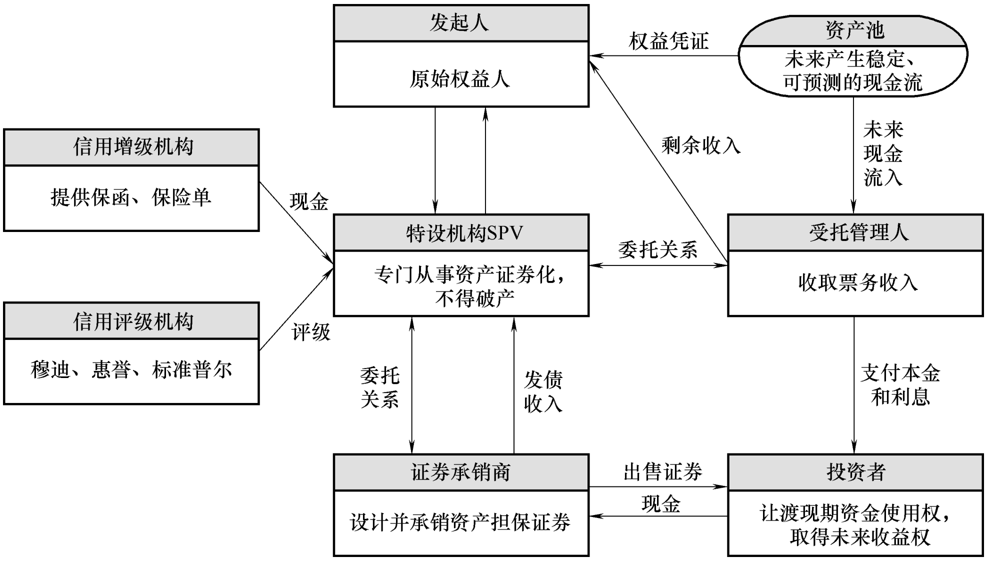


图 20-1　ABS 融资模式在现代有轨电车项目中的运作流程

1）确定证券化的资产并组建资产池。在 ABS 融资模式下，发起人通常需要选取未来现金收入稳定、可预测、信用风险较低、具有高同质性和易出售的资产进行证券化。现代有轨电车项目具有长期稳定的票务收入，经济效益较好，符合 ABS 模式对资产的要求，可以确定为 ABS 的对象。此外，发起人还需估算证券化资产的价值并评估其信用等级，根据融资目标和自身资金状况，确定用于证券化的资产的数量，然后将基础资产汇集重组，整合成一个资产池。

2）组建 SPV。SPV 是一个独立的拥有较高资信等级的法人实体（一般为 AAA 级或 AA 级）。该机构是为实现 ABS 而特设的信托机构，主要从事购买资产并发行资产支撑证券的业务。在实际运作中，SPV 可以是信托公司、投资银行、投资保险公司、担保公司或其他独立法人，他们必须获得权威的资信评级机构评定的较高信用等级。

3）原始权益人或发起人将证券化资产真实销售给 SPV。资产的原始权益人或发起人组建资产池后，将证券化的资产真实出售给 SPV，使其未来发生损益的风险与原始权益人的风险分离，实现破产隔离。

4）信用增级。为改善资产支撑证券的发行条件，满足监管要求，SPV 需要对其进行信用增级，即运用一定的技术手段将较低信用等级的资产设计转换为较高信用级别的债券。从国内外 ABS 融资的经验来看，信用增级主要包含两种方式：内部增级和外部增级。内部增级是指通过证券结构优化和增加担保条件来提高信用，包括优先/次级结构、备付金账户、提前偿付和超额担保等方式；外部增级是指由政府或信用优良的机构提供担保，当现代有轨电车项目未来的现金收入无法支付本息时，由担保方弥补投资者损失，如政府财政担保、银

行保函和信用证担保、保险单担保等。

5）信用评级。信用评级是对发行人按时偿付 ABS 证券本息能力的评价，通常由国际上权威的、独立的资信评级机构进行，如穆迪、惠誉和标准普尔。在信用增级之后，SPV 委托专业的评级机构对资产支撑债券进行最终的发行信用评级，并向现代有轨电车项目投资者公布评级结果。

6）证券发行与销售。SPV 可以作为发行人，直接在资本市场发行 ABS 债券，或者由 SPV 担保、其他机构组织 ABS 债券的发行，然后交由承销商负责向投资者销售。SPV 从证券承销商处取得发行收入后，再按资产买卖合同中约定的价格向原始权益人支付购买证券化资产的价款。

7）资产管理和监督。SPV 往往委托其他专业服务机构从事资产管理业务，自身并不直接参与管理，同时将资产权益移交给受托人进行托管。在整个 ABS 过程中 SPV 负责监督各个服务机构，并按合同约定向其支付报酬。

8）到期偿付。SPV 委托受托人按时以现代有轨电车项目资产的现金收益清偿投资者的本息，当证券到期时，再将资产池中的资产以及剩余现金流返还给原始权益人。至此，ABS 过程即告结束。

20.4　PPP 项目 ABS

1. PPP 项目 ABS

（1）PPP 项目 ABS 的基本内涵　ABS 目前主要分为四种类型：中国证券业监督管理委员会主管的资产支持专项计划、中国银行间市场交易商协会主管的资产支持票据、中国保险监督管理委员会主管的项目资产支持计划、中国人民银行与中国银行业监督管理委员会主管的信贷资产证券化。由于这里主要讨论 PPP 项目 ABS，目前 PPP 项目以项目经营权、收益权为基础更为成熟，因此接下来着重对资产支持专项计划、资产支持票据和资产支持计划这三种模式进行研究。

《关于证券公司开展资产证券化业务试点有关问题的通知》（证监机构字〔2006〕号）中对资产支持专项计划规定：“证券公司面向境内机构投资者推广资产支持受益凭证，发起设立专项资产管理计划，用所募集的资金按照约定购买原始权益人能够产生可预期稳定现金流的特定资产（即基础资产），并将该资产的收益分配给受益凭证持有人的专项资产管理业务活动”。

《银行间债券市场非金融企业资产支持票据指引》（〔2012〕14 号）中对资产支持票据进行了明确：“资产支持票据是指非金融企业在银行间债券市场发行的，由基础资产所产生的现金流作为还款支持的，约定在一定期限内还本付息的债务融资工具”。

《资产支持计划业务管理暂行办法》（保监发〔2015〕85 号）中对资产支持计划进行定义：“资产支持计划业务，是指保险资产管理公司等专业管理机构作为受托人设立支持计划，以基础资产产生的现金流为偿付支持，面向保险机构等合格投资者发行受益凭证的业务活动”。

（2）PPP 项目 ABS 的主要特点　PPP 项目 ABS 与一般类型项目 ABS 在运作原理、操作流程等方面并无本质区别，但由于 PPP 模式本身的特点而使其开展的 ABS 呈现出以下不同的特点：

1）PPP 项目 ABS 中运营管理权和收费收益权相分离。根据《基础设施和公用事业特许经营管理办法》（2015 年第25 号令），在交通运输、环境保护、市政工程等领域的 PPP 项目往往涉及特许经营，因此在这些 PPP 项目资产证券化的过程中，项目基础资产与政府特许经营权是紧密联系的。同时，由于我国对特许经营权的受让主体有严格的准入要求，PPP 项目 ABS 中要转移运营管理权比较困难，因此实际操作中更多的是将收益权分离出来作为基础资产进行 ABS。

2）PPP 项目 ABS 可将财政补贴作为基础资产。《资产证券化业务基础资产负面清单指引》中将“以地方政府为直接或间接债务人的基础资产”列入负面清单，但提出“地方政府按照事先公开的收益约定规则，在政府和社会资本合作（PPP）模式下应当支付或承担的财政补贴除外”。这一规定为 PPP 项目 ABS 提供了政策可能。实际上，财政补贴作为部分 PPP 项目收入的重要来源，可以产生稳定的、可预测的现金流，符合资产证券化中基础资产的一般规定。

3）PPP 项目 ABS 产品期限要与 PPP 项目期限相匹配。PPP 项目的期限一般为 10 ~ 30 年，相较于目前我国存在的一般类型的资产证券化产品的期限（多数在 7 年以内）要长很多。因此，要设计出与 PPP 项目周期长的特点相匹配的 PPP 项目 ABS 产品，需要在投资主体准入和产品流动性方面提出更严的标准和更高的要求，并不断推动政策的完善和交易机制的创新。

4）PPP 项目 ABS 更关注 PPP 项目本身。《关于进一步做好政府和社会资本合作项目示范工作的通知》（财金［2015］57 号）中明确规定，严禁通过保底承诺、回购安排、明股实债等方式进行变相融资。这禁止了地方政府对 PPP 项目违规担保承诺行为，也对 PPP 资产抵质押提出了更高要求。因此，在 PPP 项目 ABS 过程中应更注重项目现金流的产生能力和社会资本的增信力度，保证 PPP 项目资产证券化的顺利开展。

2. PPP 项目资产证券化的现实意义

为拓宽 PPP 项目融资渠道，引导 PPP 项目资产证券化的良性发展，国务院及相关部门出台的政策文件中都对 PPP 项目 ABS 持一定的鼓励态度。实际上，在基础设施和公共服务领域开展 PPP 项目 ABS，对于盘活存量 PPP 项目资产、吸引更多社会资金参与提供公共服务、提升项目稳定运营能力具有较强的现实意义。

（1）盘活存量 PPP 项目资产　PPP 项目中很大比重属于交通、保障房建设、片区开发等基础设施建设领域，建设期资金需求巨大，且项目资产往往具有较强的专用性，流动性相对较差。如果对 PPP 项目进行 ABS，可以选择现金流稳定、风险分配合理、运作模式成熟的 PPP 项目，以项目经营权、收益权为基础，变成可投资的金融产品，通过上市交易和流通，盘活存量 PPP 项目资产，增强资金的流动性和安全性。

（2）吸引更多社会资金参与提供公共服务　PPP 项目期限长，资金需求大，追求合理利润，而且法律政策层面没有对退出机制的明确保障，因此对社会资金的吸引力相对有限。通过 PPP 项目 ABS，有利于建立社会资金在实现合理利润后的良性退出机制，这一创新性的 PPP 项目融资模式将能够提高社会资本的积极性，吸引更多的社会资金投身于公共服务的提供。

（3）提升项目稳定运营能力　PPP 项目开展 ABS，借助其风险隔离功能，即通过以真实销售（指 ABS 的发起人向发行人转移基础资产或与 ABS 有关的权益和风险）的途径转移资产和设立破产隔离的 SPV（SPV 在法律上独立于资产原始持有人，其所拥有的资产在发起人破产时不作为清算资产）的方式来分离能够产生现金流的基础资产与发起人的财务风险，

在发行人和投资者之间构筑一道坚实的防火墙，以确保项目财务的独立和稳定，夯实项目稳定运营的基础。

3. PPP 项目 ABS 的主要模式

PPP 项目 ABS 的基础资产主要包括收益权资产、债权资产和股权资产三种类型，其中收益权资产是 PPP 项目 ABS 中最主要的基础资产类型。从我国推广运用 PPP 模式的实践情况来看，以收益权为基础开展 PPP 项目 ABS 也相对成熟。因此，这里只对适合以收益权为基础资产的三种模式，即资产支持计划、资产支持票据、资产支持专项计划进行研究。

（1）以收益权作为基础资产的三种类型　研究以收益权为基础开展 PPP 项目 ABS，首先要厘清收益权资产在 PPP 项目中的不同类型。PPP 项目收费模式一般可分为使用者付费、政府付费和可行性缺口补助三种，而收益权资产也相应地分为使用者付费模式下的收费收益权、政府付费模式下的财政补贴、可行性缺口补助模式下的收费收益权和财政补贴。

1）使用者付费。使用者付费模式下的基础资产是项目公司在特许经营权范围内直接向最终使用者供给相关服务和基础设施而享有的收益权。这类支付模式通常用于财务情况较好、可经营系数较高及直接面向使用者提供基础设施和公共服务的项目。此模式下的 PPP 项目往往具有需求量可预测性强，现金流稳定且持续的特点。但特许经营权对被授予的资金实力、管理经验和技术等要求较高，因此在使用者付费模式下转让给 SPV 的基础资产一般是特许经营权产生的未来现金流入，而不是特许经营权的直接转让。这种模式的 PPP 项目主要包括市政供热和供水、道路收费权（铁路、公路、地铁等）、机场收费权等。

2）政府付费。政府付费模式下的基础资产是 PPP 项目公司提供基础设施和服务而享有的财政补贴的权利。这种模式下项目公司获得的财政补贴和提供的基础设施及服务数量、质量与效率挂钩，项目公司也不直接向最终使用者提供基础设施和服务，如垃圾处理、污水处理和市政道路等。但这种模式下财政补贴应遵循财政承受能力的相关要求，即不能超过一般公共预算支出的 10%。因此，以财政补贴为基础资产的 PPP 项目 ABS 要重点考虑政府财政支付能力、预算程序等影响。

3）可行性缺口补助。可行性缺口补助是指在使用者付费无法满足社会资本或项目公司的成本回收和合理回报时，由政府以财政补贴、股本投入、优惠贷款和其他优惠政策的形式，给予社会资本或项目公司的经济补助。这种模式通常运用于可经营性系数相对较低、财务效益相对较差、直接向最终用户提供服务但仅凭收费收入无法覆盖投资和运营回报的项目，例如科教文卫和保障房建设等领域。可行性缺口补助模式下的基础资产是收益权和财政补贴，因此兼具使用者付费和政府付费两种模式的特点。

（2）PPP 项目 ABS 的三种模式

1）资产支持专项计划。资产支持专项计划是指将特定的基础资产或资产组合通过结构化方式进行信用增级，以资产基础所产生的现金流为支持，发行 ABS 产品的业务活动。由证监会负责监管资产支持专项计划业务，但在具体实施中不要求对具体产品进行审核，产品一般在上海证券交易所、深圳证券交易所或机构间私募产品报价与服务系统挂牌审核，并由基金业协会负责事后备案管理。PPP 项目如果以收益权为基础资产开展资产支持专项计划，其运作流程归纳如下：

① 由券商或基金子公司等作为管理人设立资产支持专项计划，并作为销售机构向投资者发行资产支持证券募集资金。

② 管理人以募集资金向 PPP 项目公司购买基础资产（收益权资产），PPP 项目公司负责收益权资产的后续管理。

③ 基础资产产生的现金流将定期归集到 PPP 项目公司开立的资金归集账户，并定期划转到专项计划账户。

④ 托管人按照管理人的划款指令进行本息分配，向投资者兑付产品本息。

PPP 项目资产支持专项计划运作流程如图 20-2 所示。

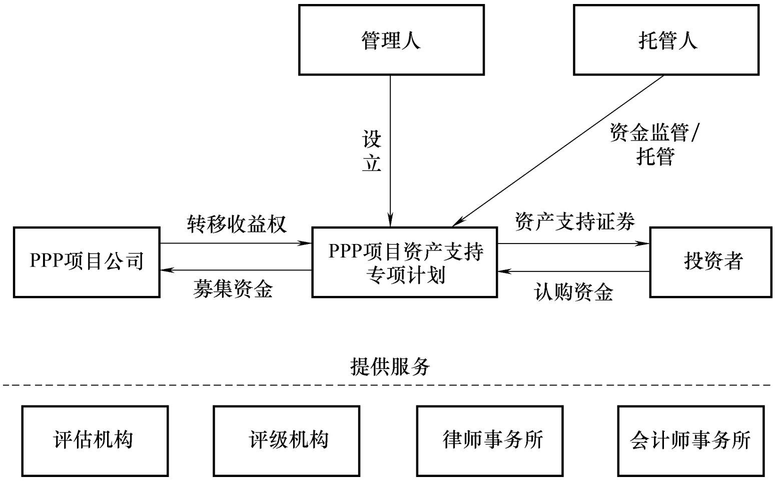


图 20-2　PPP 项目资产支持专项计划运作流程

2）资产支持票据。资产支持票据是指非金融企业在银行间债券市场发行的，由基础资产所产生的现金流提供支持的，约定在一定时间内还本付息的债务融资工具。PPP 项目中资产支持票具发行的操作流程如下：

① PPP 项目公司向投资者发行资产支持票据。

② PPP 项目公司将其基础资产产生的现金流定期归集到资金监管账户，PPP 项目公司对基础资产产生的现金流与资产支持票据应付本息差额部分承担补足义务。

③ 监管银行将本期应付票据本息划转至上海清算所账户。

④ 上海清算所将本息及时分配给资产支持票据持有人。

PPP 项目资产支持票据运作流程如图 20-3 所示。

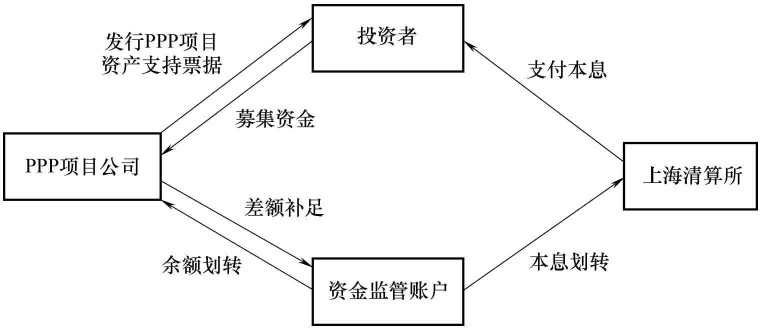


图 20-3　PPP 项目资产支持票据运作流程

3）资产支持计划。资产支持计划是将基础资产托付给保险资管公司等专业管理机构，以基础资产所产生的现金流为支持，由受托机构作为发行人设立支持计划，合格投资者购买产品而获得再融资资金的业务活动。PPP 项目以收益权为基础资产开展资产支持计划，其运作流程如下：

① 保险资管公司等专业管理机构设立资产支持计划。

② PPP 项目公司依照约定将基础资产移交给资产支持计划。

③ 保险资产管理公司面向保险机构等合格投资者发行受益凭证，受益凭证可按规定在保险资产登记交易平台发行、登记和转让。

④ 由托管人保管资产支持计划资产并负责资产支持计划项下资金拨付。

⑤ 托管人根据保险资产管理公司的指令，及时向受益凭证持有人分配本金和收益。

PPP 项目资产支持计划运作流程如图 20-4 所示。

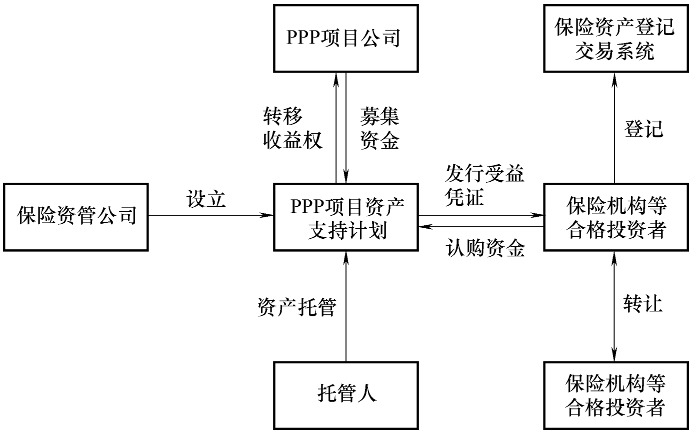


图 20-4　PPP 项目资产支持计划运作流程

4. PPP 项目 ABS 的现存问题

（1）法律、法规尚未健全　在现阶段 PPP 相关政策文件中，明确鼓励 PPP 项目通过 ABS 拓宽融资渠道，但 PPP 本身作为一项全新的改革事业，PPP 项目 ABS 始终没有完善的法律保障，许多问题还没有明确。例如，收益权与经营权转让的问题，收益权紧密依赖于经营权，但在现行框架下，只能以收益权作为基础资产，将其转移至资产证券化特殊目的载体，而不能转移经营权。如果仅以收益权作为基础资产出售给 SPV 开展 ABS 业务，经营权仍然属于 PPP 项目公司，这类似于一般所有权未转让而收益权转让的 ABS 项目，同样也会产生收益权项目中的真实出售及破产隔离的问题。

（2）交易机制亟待完善　从实际情况来看，对 PPP 项目 ABS 业务受理、审核及备案的相关机制尚不完善，且 PPP 项目 ABS 产品目前市场规模相对较小，产品流动性较低。

而且，我国 ABS 产品的二级市场交易机制本身还不完善，例如不能开展标准券质押式回购等，在 PPP 项目投资中，社会资本很难通过 ABS 实现真正的退出。

（3）项目期限还不匹配　PPP 项目的周期长，经营期大部分在 10～30 年，原则上不能低于 10 年。而 ABS 产品的存续期限一般在 5 年以内，很少有超过 7 年的 ABS 产品。因此，单个 ABS 产品期限难以覆盖单个 PPP 项目的全生命周期。如果在以 PPP 项目收益权为基础

资产开展的 ABS 产品期满后，再开展另外的 ABS，不仅程序烦琐，也会增加融资成本。

（4）中长期投资者比较缺乏　目前国内 ABS 的投资者群体主要是商业银行、券商、公募/私募基金、财务公司等，这些机构偏好于中短期限的固定收益产品，通常为 5 年以内。目前保险公司对于 ABS 产品的投资门槛较高，企业年金、社保基金等大型机构投资者在 ABS 产品的投资准入方面还有明确限制。由于 PPP 项目期限通常为 10 ~ 30 年，若融资期限较短，则难以充分利用未来的基础资产现金流，使得优质 PPP 项目开展 ABS 的动力不足。

5. PPP 项目 ABS 的现存问题

（1）加强顶层设计　一方面，要构建完整的 PPP 项目 ABS 政策体系。推动制定专门、统一的 PPP 项目 ABS 政策文件，对阻碍发展的问题进行合理调整，确立统一的发行、上市和交易规则，为 PPP 项目 ABS 业务的发展提供规范、合理的法律框架。

另一方面，PPP 主管部门应协同证监会推动完善相关配套措施。针对经营权转让、财政补贴转让以及 ABS 交易中的 SPV、真实出售、破产隔离等各个环节的相关问题加以明确，为 PPP 项目开展 ABS 扫清障碍，积极推动 PPP 项目 ABS 发展。

（2）完善机制建设　应努力完善二级市场的交易机制，提高 PPP 项目 ABS 产品的流动性，搭建投资主体多元化的市场退出机制，具体可以从以下三个方面着手：

1）推出针对 PPP 项目 ABS 产品的标准券质押式回购交易机制。标准券质押式回购是提升 PPP 项目 ABS 产品流动性和降低交易风险的有效方式之一。允许开展标准券质押式回购，能提升产品吸引力和流动性。

2）扩展 PPP 项目 ABS 产品的交易平台。交易所市场的集中竞价系统的投资者范围广、交易活跃，PPP 项目 ABS 产品可以借鉴公司债的分类管理方式，对产品制定一定标准，符合标准的产品可以同时在交易所集中竞价系统、固定收益平台、大宗交易系统等平台进行交易。

3）允许公募发行，做大市场规模。对于 PPP 项目 ABS 来说，公募发行非常重要，这是因为 PPP 项目 ABS 的单笔规模通常较大、融资期限通常较长，实现公募发行能够有效地解决资金来源问题。

（3）努力实现风险的合理分配　风险隔离是开展 PPP 项目 ABS 的要求与保障。在实际操作过程中，一方面通过真实出售、破产隔离等设计将 PPP 项目公司与 SPV 的风险相隔离；另一方面也要避免风险的过度转嫁，要努力实现风险的合理分配。这就要求在 PPP 项目中要有科学合理的风险分配框架，让最合适的一方承担最合适的风险。不同的项目风险分配框架的设计有所不同，但不管是什么项目，最核心的一点就是要讲求公允和平等互利，讲求风险共担、利益共享，谁也不要独享利益，谁也不要牟取暴利。

（4）积极引导中长期机构投资者　PPP 项目具有投资规模大、期限长、收益稳定等特点，与中长期机构投资者的需求相匹配，与保险和年金等资金投资需求相契合。建议设计符合 PPP 项目特点、能够覆盖 PPP 项目全生命周期的 ABS 产品，同时出台相关配套措施，引入中长期机构投资者，鼓励保险资金、社保基金、养老金、住房公积金等机构投资者参与 PPP 项目 ABS 产品投资。此外，还可以考虑积极引入 PPP 基金等各类市场资金，投资 PPP 项目 ABS 产品，推进建立多元化、可持续的 PPP 项目资金保障机制，推动 PPP 模式的发展。

20.5　南京麒麟现代有轨电车项目 ABS 融资的应用分析

1. 南京麒麟现代有轨电车 1 号线项目概况

南京麒麟现代有轨电车 1 号线项目（以下简称 1 号线项目）的建设地点位于麒麟科技创新园，线路全长约为 9.1km。全线主要为地面铺设，共设置 15 个站，平均站距为 629m。项目计划建设期限为 2.5 年。据估算，1 号线项目总投资为 136228.3 万元，包含工程费用、工程建设其他费用、预备费、车辆购置费、建设期贷款利息以及铺底流动资金等。其中资本金投入为 47680 万元，约占总投资的 35%，由麒麟指挥部自筹；其余 88548.3 万元需要进行项目融资。由此可见，1 号线项目有较大的融资需求。

2. 构建 1 号线项目 ABS 的资产池

根据 ABS 融资模式的要求，可证券化的资产未来必须能够产生稳定的可预期的现金流。为了衡量 ABS 融资模式的可行性，需要测算 1 号线项目未来的现金收入。现金收入包括三部分：营业收入、回收固定资金余值、回收流动资金。其中，营业收入是票价收入和其他业务运营收入之和。票价收入是客运量与票价的乘积。其他业务收入是票价收入的有益补偿，包含广告、车站商场租金、物业开发等收入。现金收入 = 营业收入 + 回收固定资金余值 + 回收流动资金；营业收入 = 票价收入 + 其他业务运营收入；票价收入 = 客运量 × 票价。根据《城市轨道交通工程项目建设标准》的规定，这里以建成通车年为基年，将客流预测分为三个年限：初期为 2017 年、近期为 2024 年、远期为 2039 年。结合南京市麒麟科技创新园的经济发展状况、人口规模、沿线土地开发以及线路客流等特点，对客流状况进行预测，结果见表 20-1。本项目的综合票价定为 3 元/人次，其他业务收入按票价收入的 20% 计算，由此可得三个特征年限 1 号线项目的运营收入，见表 20-2。

表 20-1　1 号线项目客流预测汇总　　（单位：万人次）

预测年限	日客运量
2017 年	3.28
2024 年	7.79
2039 年	8.66

注：客流数据主要依据麒麟科技创新同现代有轨电车 1 号线工程客流预测报告得出。

表 20-2　1 号线项目营业收入汇总　　（单位：万元）

预测年限	票价收入	其他业务运营收入	营业收入
2017 年	3591.6	718.32	4309.92
2024 年	8530.05	1706.01	10236.06
2039 年	9482.7	1896.54	11379.24

由表 20-2 可知，1 号线项目在未来有较稳定的营业收入，加上回收固定资产余值与回收的流动资金等收入，基本可以满足 ABS 融资模式对可证券化资产的要求。因此，选择各线网票务收入进行证券化具有可行性。

3. 现代有轨电车 1 号线项目 SPV 的组建

作为基础设施建设极其重要的一部分，1 号线项目可采取两种方式组建 SPV。一种方式是由发起人为资产支持债券的发行和交易直接设立 SPV，即 1 号线项目的建设经营方设立一个专门管理 1 号线项目运营及收入的子公司，负责收取 1 号线项目票务费用并按照约定向投资者还本付息，然后经营方将未来的经营收益权转让给 SPV，再由 SPV 发行证券融资；另一种方式是选择独立的第三方作为 SPV，这种特设机构通常以基金的形式出现。

4. 资产支撑证券的信用增级与信用评级

鉴于 1 号线项目的准公共物品性，南京市政府和银行机构给予了绝对的政策支持，因此信用增级形式可以选择政府部门或银行担保形式。具体由政府协助发起人筹集建设资本，并与大型国有银行签订担保协议，根据需要还可以委托金融担保公司、保险公司等第三方信用担保机构，为南京现代有轨电车资产支持债券的发行提供担保。目前我国的信用评级制度尚不完善，因此该项目资产支持债券的信用评级应当选择国际权威的资信评级机构进行。

5. 债券承销与现金流清算

SPV 委托证券承销商出售现代有轨电车资产支撑证券，并与一家资质优良的商业银行签订信托合同，由现代有轨电车运营商把每日的票务收入存入托管银行的人民币信托账户上。在债券发行结束后，SPV 从证券承销商处取得发债收入并向其支付承销费用，再按照资产买卖合同约定的数额扣留部分资金于托管银行，作为初始还款准备，直至债券全部偿还完毕。此外，为保障 1 号线项目顺利进行，南京市政府不仅需要从政策法规方面对其给予支持，还应适当采取税收优惠政策，降低 ABS 融资模式的成本。

第21章

现代有轨电车PPP项目产业投资基金模式

21.1　产业投资基金概述

1. 产业投资基金的定义

根据原国家发展计划委员会2006年制定的《产业投资基金管理暂行办法》，产业投资基金（简称产业基金），是指一种对未上市企业进行股权投资和提供经营管理服务的利益共享、风险共担的集合投资制度，即通过向多数投资者发行基金份额设立基金公司，由基金公司自任基金管理人或另行委托基金管理人管理基金资产，委托基金托管人托管基金资产，从事创业投资、企业重组投资和基础设施投资等实业投资。按投资领域的不同，产业投资基金可分为创业投资基金、企业重组投资基金、基础设施投资基金等类别。随着2006年《中华人民共和国合伙企业法》、2014年《私募投资基金监督管理暂行办法》等法律、法规的出台，产业投资基金的组织形式向着多样化的方向发展。

鉴于产业投资基金在基础设施建设领域独特的作用，我国许多地方政府甚至专门设立政府投资基金，以便充分发挥财政资金对产业升级、基础设施建设的引导作用和杠杆作用。近期，财政部还专门出台了《政府投资基金暂行管理办法》，从政府投资基金的设立、运作和风险控制、预算管理等方面进行规范，以促进政府投资基金持续健康运行。

2. 产业投资基金的组织形式

根据产业投资基金的法律实体的不同，产业投资基金的组织形式可分为公司型、契约型和有限合伙型。

（1）公司型　公司型产业投资基金是依据公司法成立的法人实体，通过募集股份将集中起来的资金进行投资。公司型基金有着与一般公司相类似的治理结构，基金很大一部分决策权掌握在投资人组成的董事会，投资人的知情权和参与权较大。公司型产业基金的结构在资本运作及项目选择上受到的限制较少，具有较大的灵活性。在基金管理人选择上，既可以由基金公司自行管理，也可以委托其他机构进行管理。

公司型基金比较容易被投资人接受，但也存在双重征税、基金运营的重大事项决策效率不高的缺点。公司型产业投资基金由于是公司法人，融资方式更为丰富，例如可以发行公司债。

（2）契约型　契约型产业投资基金一般采用资管计划、信托和私募基金的形式，投资者作为信托、资管等契约的当事人和产业投资基金的受益者，一般不参与管理决策。契约型

产业投资基金不是法人，必须委托基金管理公司管理运作基金资产，所有权和经营权分离，有利于产业投资基金进行长期稳定的运作。但契约型基金是一种资金的集合，不具有法人地位，在投资未上市企业的股权时，无法直接作为股东进行工商登记的，一般只能以基金管理人的名义认购项目公司股份。

（3）有限合伙型　有限合伙型产业基金由普通合伙人（General Partner，GP）和有限合伙人（Limited Partner，LP）组成。普通合伙人通常是资深的基金管理人或运营管理人，负责有限合伙基金的投资，一般在有限合伙基金的资本中占有很小的份额。而有限合伙人主要是机构投资者，他们是投资基金的主要提供者，有限合伙基金一般都有固定的存续期，也可以根据条款延长存续期。通常情况下，有限合伙人实际上放弃了对有限合伙基金的控制权，只保留一定的监督权，将基金的运营交给普通合伙人负责。普通合伙人的报酬结构以利润分成为主要形式。

典型的有限合伙型产业基金结构可分为三层：银行、保险等低成本资金所构成的优先层，基金发起人资金所构成的劣后层，以及夹层资金所构成的中间层。优先层承担最小风险，同时作为杠杆，提高了中间层和劣后层的收益。通过这种设计，有限合伙型产业基金在承担合理风险的同时，能够为投资者提供较高的收益。

某股份银行参与投资某省会城市的产业园开发项目的有限合伙型产业基金，其中理财资金为 LP，园区平台公司为 GP，双方占比为 4∶1，基金持有项目公司 51% 的股份，以土地开发和项目产生现金流偿还投资方本息。

3. 政府牵手产业投资基金的原因分析

（1）政府资源紧张倒逼牵手产业投资基金　1994 年分税制改革重新划分了中央和地方的财政收支，此后地方政府的财政收入占全国财政收入的比重一直维持在 50% 左右，但是财政支出占全国财政支出的 70% 以上，根据旧的预算法，地方政府缺乏直接负债融资的法理基础，为了解决经济发展和融资约束之间的矛盾，地方融资平台公司逐渐兴起，成为地方政府在基础设施建设和公共服务领域融资的重要途径。

为加强对地方政府融资平台公司及其债务的规范管理，中央自 2010 年起发布了一系列文件加强对地方融资平台的监管，尤其是新预算法和 43 号文的出台，使得地方政府的传统融资渠道（贷款、信托和债券）融资全面受限。根据 43 号文的规定，地方政府规范的举债融资机制仅限于：政府举债（一般债券和专项债券）、PPP 和规范的或有债务。但是地方政府在经济建设方面的责任并没有因为原有平台融资渠道受限而得到减轻，随着经济下行压力的加大，地方政府迫切需要通过投资来拉动经济，而在实业产能过剩和房地产增速下滑的背景下，城镇基础设施和公共服务领域的建设成为拉动投资乃至稳增长的关键。

为了实现在 43 号文的框架内筹集用于基建投资的资金，地方政府一方面可以通过发行地方债来融资，另一方面也可以引入社会资本在 PPP 的框架下进行，产业投资基金由于其灵活的形式和汇集资本的功能，成为地方政府基建融资的新选择。

（2）产业投资基金解决的政府难题　产业投资基金本质上是一种融资媒介，政府通过成立基金，吸引社会资本以股权形式介入项目公司，参与基建类项目的建设和运营，可以解决地方政府三个问题：

1）解决新建项目的融资问题。对于新建类项目，政府可以发起母基金，吸引银行、保

险等金融机构和实业资本提供项目建设所需要的资金，解决当前建设资金不足的问题。

2）解决存量项目的债务问题。对于存量的项目，可以通过 TOT、ROT 等方式，由产业投资基金设立的项目公司接手具体项目运营。尤其是对于已到回购期的 BT 类项目，原先政府的付费期是 3～5 年，产业基金介入项目后，政府通过授予特许经营权，政府的补贴或支付期限可以延长到十年甚至更长，大大减轻地方政府的短期偿债压力。

3）解决城投公司资的产负债约束问题。过去绝大多数基建类项目都由地方城投公司负责融资、建设和运营，城投公司直接融资会造成资产负债表膨胀，提高城投公司的资产负债率，从而影响企业的银行贷款和债券发行。城投公司通过发起设立产业投资基金，以基金的形式筹集资金，可以实现表外化的融资，降低城投公司的资产负债率。

在传统的平台投融资模式下，地方政府以自身信用为平台公司的投融资项目承担隐性担保。而在产业投资基金模式下，地方财政以较小比例的股权加入投融资项目，对项目特许经营和收取附带权益，有助于解决地方基建融资问题，提高财政资金的使用效益。

21.2　PPP 产业投资基金的概念

自十八届三中全会提出允许社会资本通过特许经营等方式参与城市基础设施投资和运营之后，中央各部委出台了一系列文件鼓励推广政府和社会资本合作模式（PPP）。在 PPP 模式下，政府通过特许经营权、合理定价、财政补贴等事先公开的收益约定规则，使投资者有长期稳定收益。投资者按照市场化原则出资，按约定规则独自或与政府共同成立特别目的公司建设和运营合作项目。投资者或特别目的公司可以通过银行贷款、企业债、项目收益债券、资产证券化等市场化方式举债并承担偿债责任。政府对投资者或特别目的公司按约定规则依法承担特许经营权、合理定价、财政补贴等相关责任，不承担投资者或特别目的公司的偿债责任。

在实践中，很多省市以地方财政投入启动资金，引入金融资本成立产业投资基金。具体操作形式是由金融机构与省级地方政府共同合作设立母基金，再和地方企业（很多情况下是原融资平台）合资成立项目公司或子基金，负责基础设施建设的投资。金融机构一般采用分期募集资金或者用理财资金对接的形式作为基金有限合伙方的出资。子基金或项目公司作为种子项目投资运作主体，对城市发展相关产业进行市场化运作，自担风险，自负盈亏。

PPP 模式下的产业投资基金，一般通过股权投资于地方政府纳入到 PPP 框架下的项目公司，由项目公司负责具体基建项目的设计、建造、运营，政府授予项目公司一定期限的特许权经营期。

地方的实践得到了中央政府的认可和鼓励，2015 年 5 月 19 日，国务院办公厅转发财政部、发展改革委员会、人民银行《关于在公共服务领域推广政府和社会资本合作模式指导意见》的通知（国办发〔2015〕42 号），特别指出中央财政出资引导设立中国政府和社会资本合作融资支持基金，作为社会资本方参与项目，提高项目融资的可获得性。鼓励地方政府在承担有限损失的前提下，与具有投资管理经验的金融机构共同发起设立基金，并通过引入结构化设计，吸引更多社会资本参与。

21.3 PPP 模式下的产业投资基金运作方式

1. PPP 模式下的产业投资基金运作模式

PPP 项目资金需求量大、投资周期长，为了拓宽项目融资渠道、优化各方投资风险、提高社会资本参与 PPP 项目积极性，中央与地方两级政府都在积极探索成立 PPP 引导基金。财政部与山东、山西、河南、江苏、四川及新疆等地都成立了不同规模的 PPP 引导基金（简称 PPP 基金）。为了更好地指导实践，我们有必要分析下该类基金的运作模式。

1）只设立 PPP 母基金，而不另设 PPP 子基金（见图 21-1）。

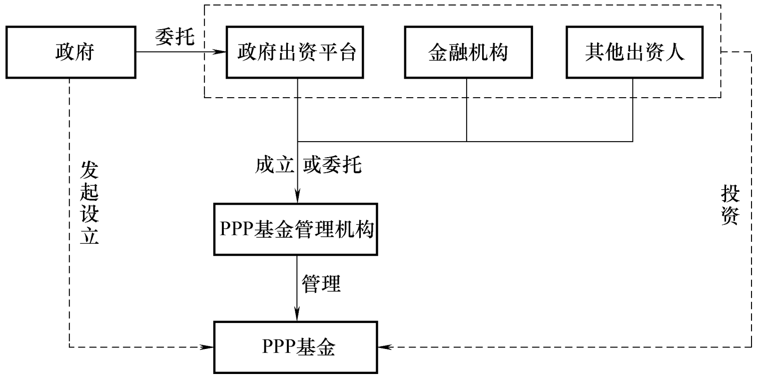


图 21-1　只设立 PPP 母基金，而不另设 PPP 子基金

PPP 基金一般由政府（通常是财政部门）发起，政府委托政府出资平台与银行、保险等金融机构以及其他出资人共同出资，政府作为劣后级出资人，金融机构与其他出资人作为优先级出资人。PPP 基金的管理人可以由 PPP 基金公司（公司制）或 PPP 基金有限合伙企业（有限合伙制）自任，也可另行委托基金管理人管理基金资产。

2）既设 PPP 母基金，也设 PPP 子基金，子基金出资不仅出自母基金（见图 21-2）。

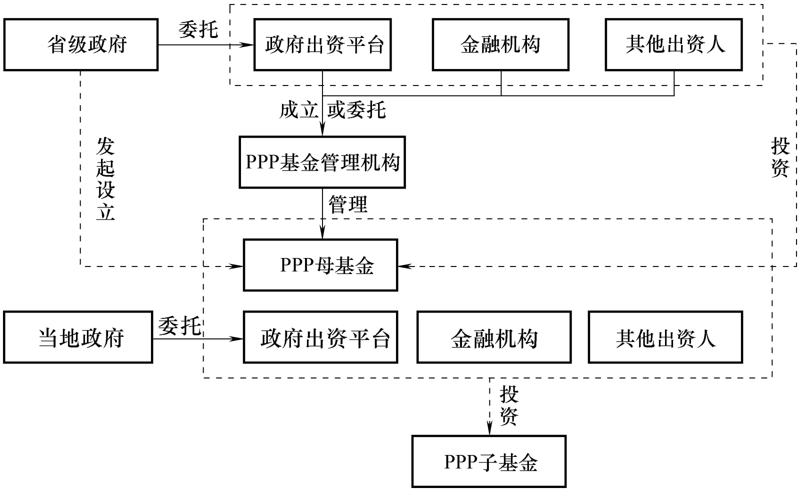


图 21-2　既设 PPP 母基金，也设 PPP 子基金，子基金出资不仅出自母基金

首先由省级政府发起设立 PPP 母基金，母基金出资人为省政府出资平台、金融机构和其他出资人，一般省政府只出资其中一小部分，基金出资主要来自于银行、保险、信托等金融机构，有时深耕某个行业的实体公司也会参与。母基金规模通常不会很大，而是通过小比例投资多个由当地政府（市、县级政府）发起成立的 PPP 子基金，起到引导 PPP 项目投向的作用。山西省改善城市人居环境 PPP 投资引导基金就是这种实例。

3）既设 PPP 母基金，也设 PPP 子基金，子基金出资全部出自母基金（见图 21-3）。

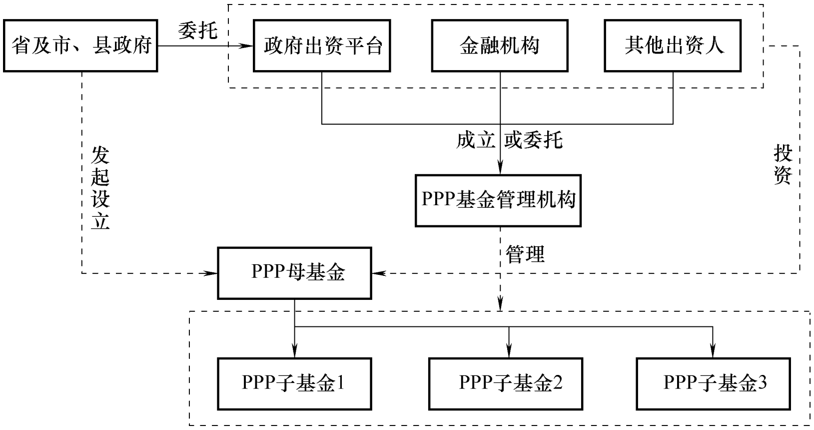


图 21-3　既设 PPP 母基金，也设 PPP 子基金，子基金出资全部出自母基金

与第二种交易结构不同，虽然都成立 PPP 母子基金，但在该种模式下，PPP 母基金的总规模等于各子基金规模的总和，即各子基金的出资全额来自母基金。而且在某种情况下，政府可能对每个子基金分别委托基金管理机构，而不是由某个基金管理机构全权负责 PPP 母基金旗下的所有子基金。比如江苏省 PPP 融资支持基金就是这种情形，母基金规模为 100 亿元，每 20 亿元设立一个子基金，共设立五个子基金，并分别选择五家基金管理机构。

2. PPP 模式下的产业投资基金运作模式的还款来源

根据 PPP 项目的类型不同，产业投资基金的还款来源也有不同的类型：

（1）经营性项目　经营性项目的收入完全来源于项目运营，主要依赖项目本身的运营管理，在保证特许经营协议约定质量的基础上，通过提升效率、节约成本来获取盈利，主要由商品或者服务的使用者付费，供电、供水等一般属于此类项目。

（2）准经营性项目　使用者付费不足以使社会资本获得合理的回报，政府会通过可行性缺口补助给予补贴收入，如在污水处理、垃圾处理等项目中，政府通过补贴的方式来保障参与项目的社会资本达到合理的收益。

（3）公益性项目　市政道路、排水管网、生态环境治理等项目没有收入或者只有很少收入，社会资本的收入主要来源于政府的资产服务购买收入，如需要政府支付服务费用或购买资产。

3. 产业投资基金参与下 PPP 项目的操作流程

PPP 产业投资基金的投资对象一般以拥有稳定现金流的经营性 PPP 项目为主，适合投资的 PPP 项目通常应具备以下几个条件：项目融资需求大，收益长期稳定，如道路、通信、电力等；技术可靠，项目复杂程度适中；市场化程度较高；具有基于使用者付费的收费模

式；具有较强的区域性。此外，对于准经营性和非经营性 PPP 项目是否可以进行投资，取决于在考虑了政府提供的其他配套性补偿措施之后，项目是否具有盈利的空间。

PPP 产业投资基金参与 PPP 项目投资具有灵活的特点，既可直接投资地方政府确定的项目公司（即特许经营公司或运营公司），作为股东持有项目公司股权，参与项目公司建设运营，分享项目公司收益；也可以债权或股权债权相结合的方式对 PPP 项目进行投资；还可参股地方政府发起设立的 PPP 基金，由其投资地方政府确定的 PPP 项目。

根据投资方式的不同，产业基金获得的收益也不同。产业投资基金以股权投资 PPP 项目的收入包括股权分红收益及股权转让增值收益；产业基金以债权投资 PPP 项目的收入主要为利息收入；还有其他合法性收入，比如获得地方性税收减免而形成的收益。

结合 PPP 项目的一般运作模式，引入 PPP 产业投资基金后的项目运作模式有如下几个关键步骤：

1）项目识别。社会资本引入产业基金作为项目股权出资方，发挥其风险识别判断能力，将风险防控的关口前移至项目谈判阶段。借助金融机构的征信系统，在项目区域选择、项目类型选择上充分发挥产业基金所具有的天然的逐利性，从经济、技术和市场等方面对方案进行可行性分析，防范投资风险。

2）项目公司实施组建。政府对于 PPP 项目，必须根据相关法律规定，依法合规选择社会资本。由社会资本与产业基金组成的联合体共同制定项目 PPP 实施方案，包括项目公司的设立、交易结构设计、出资比例、特许经营权的设置、投资者的退出、风险管理、政府监管等。

3）项目运营。产业基金与社会资本组成的社会投资人联合体共同组建项目公司，并获得政府授予的该项目的特许经营权，组织项目的实施。在项目公司的运营阶段，产业基金可以与项目发起人（股东）共同商定如何回购和退出。

4）项目移交。在特许期限满或项目合同履约期满后，项目公司应向政府转让项目的经营权和所有权，并办理 SPV 的清算手续。在移交时一般要求项目功能完善、设施良好、设备运行正常、工程资料齐全，能够确保项目的正常使用。

4. PPP 模式下产业投资基金的退出方式

产业投资基金通常都有一定的期限，而 PPP 项目的周期可能长达数十年，因此参与 PPP 的产业投资基金一般需要多种方式退出。具体的退出方式有四种：

（1）项目清算　项目清算退出是指产业投资基金资金投入到 PPP 项目公司后，在项目投资公司完成项目任务（或阶段性投资任务后）后，通过项目投资公司清算（或注册资本减少）的方式，返还产业投资基金应当获取的股权收益，实现投资的退出。

（2）股权回购/转让　股权回购/转让退出是指产业投资基金资金投入到 PPP 项目公司后，在项目投资公司完成项目任务（或合同约定投资任务）后，由项目发起人进行股权回购；或对外转让所持有的项目股权，通过溢价回购（转让）股权、获得合伙分红方式退出。

（3）资产证券化　资产证券化退出是指产业基金资金投入到 PPP 项目公司后，以基础资产所产生的现金流为偿付支持，对项目资产信用增级，然后发行资产支持证券，获得投资收益后并退出。

（4）资本市场上市　资本市场上市退出是指选择经营性基础设施和特色产业中的优良资产进行打包，并在资本市场上市，实现资产增值收益。

参 考 文 献

[1] 王灏. 城市轨道交通投融资模式研究［M］. 北京：中国建筑工业出版社，2010.
[2] 葛培健，张燎. 基础设施 BT 项目运作与实务［M］. 上海：复旦大学出版社，2009.
[3] 叶苏东. 民间资本开发城市轨道交通项目的偿付机制研究［J］. 北京交通大学学报：社会科学版，2011，10（2）：33-39.
[4] 王守清，柯永建. 特许经营项目融资（BOT、PFI 和 PPP）［M］. 北京：清华大学出版社，2008.
[5] 常胜利，金春日. 城市轨道交通 PPP 项目可行性缺口补助机制研究［J］. 工程经济，2016（6）：25-27.
[6] 张晓莉，张泓，刘勇. “地铁经营 + 物业发展”盈利模式的内涵与操作思路［J］. 都市快轨交通，2008，21（2）：1-6.
[7] 王海硕，陈建明，徐大春. ABS 融资模式在现代有轨电车项目中的应用研究［J］. 项目管理技术，2013（10）：112-116.
[8] 投资项目可行性研究指南编写组. 投资项目可行性研究指南［M］. 北京：中国电力出版社，2002.
[9] 全国注册咨询工程师（投资）资格考试参考教材编写委员会. 项目决策分析与评价［M］. 北京：中国计划出版社，2011.
[10] 王玉萍. 城市轨道交通客流预测与分析方法［D］. 西安：长安大学，2011.
[11] 彭进福. 重庆轨道交通 2 号线客流预测［D］. 成都：西南交通大学，2012.
[12] 中国国际工程咨询公司投资项目可行性研究与评价中心. 投资项目可行性研究教程：上、下册［M］. 北京：地震出版社，2002.

现代有轨电车系列丛书

53155　城市现代有轨电车工程基础

▶ 58530　现代有轨电车系统规划及运作模式

58525　现代有轨电车建设施工技术与工程管理

58531　现代有轨电车车辆系统

58140　现代有轨电车供电系统

58524　现代有轨电车运营组织及安全管理

58083　现代有轨电车运行安全控制系统

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
服务咨询热线：010-88361066
读者购书热线：010-68326294
010-88379203
网络服务
机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
金书网：www.golden-book.com
教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

机械工业出版社科普平台
科技有的聊

机械工业出版社制造业资讯
制造业那些事儿

机械工业出版社微信公众号

上架指导　交通／轨道交通

ISBN 978-7-111-58530-5

策划编辑◎何月秋 / 封面设计◎马精明

ISBN 978-7-111-58530-5

9 787111 585305 >

定价：77.00元